

Tiepäällysteiden formiaatin kestävyys

Kirjallisuuskatsaus ja laboratoriokokeet

Tiehallinnon selvityksiä 24/2002



Tiepäällysteiden formiaatin kestävyys

Kirjallisuuskatsaus ja laboratoriokokeet

Tiehallinnon selvityksiä 24/2002

ISSN 1457-9871
ISBN 951-726-902-1
TIEH 3200756

Edita Prima Oy
Helsinki 2002

Julkaisua myy:
Tiehallinto, julkaisumyynti
telefaksi 0204 22 2652
e-mail julkaisumyynti@tiehallinto.fi



TIEHALLINTO
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelinvaihte 0204 22 11

TIIVISTELMÄ

Kirjallisuuden perusteella formiaattien vaikutusta asfaltin ominaisuuksiin on tutkittu jonkin verran lentokenttäolosuhteissa esim. Ruotsissa, Norjassa, Kanadassa ja Suomessa. Meillä lentokenttäpäällysteiden ja tiepäällysteiden erot normaalin asfaltin AB16 osalta ovat kuitenkin siksi pienet, että lentokentillä formiaateista saatuja tuloksia voidaan hyvin soveltaa myös tavalliseen tieasfalttikäyttöön.

Asfalttipäällysteiden kulumisvaikutusta, jota lentokentillä ei esiinny, tutkittiin ensi kertaa tämän tutkimuksen laboratorio-osiossa. Formiaatit vaikuttavat nykykäsityksen perusteella jonkin verran asfalttipäällysteiden ominaisuuksiin. Formiaatit vaikuttavat eri tavoin asfaltin raaka-aineista bitumiin ja kiviainekseen sekä niiden väliseen tartuntaan. Formiaatin vaikutuksen bitumiin määrää bitumin pehmeys. Formiaattia kulkeutuu pelkän pehmeän tiebitumin B160/220 pintaan laboratoriosäilytyksessä siksi voimakkaasti, että irronnutta bitumia nousee jäänsulatuskemikaalin pintaan. Tiivistetyssä asfalttipäällysteessä formiaatin vaikutus tartuntaan on pienempi ja riippuu asfalttipäällysteen tiiveydestä. Formiaatin vaikutuksia bitumiin ja asfalttipäällysteisiin on tutkittu vasta vähän eikä vaikutusmekanismia toistaiseksi vielä tunneta tarkasti.

Formiaattien mahdollisia vaikutuksia tulisi ehkäistä tiepäällysteiden koostumuksen suunnittelulla. Jäänsulatuskemikaalin vaikutus bitumiin pienenee, kun bitumi on kovempaa. Ainakin tiebitumi B160/220 on osoittautumassa formiaattia käytettäessä liian pehmeäksi tiebitumiksi. Formiaattien käytön yhteydessä tulisi valita käyttöön vähintään tiebitumin B70/100 kovuinen bitumi. Käyttökohteissa, joissa halutaan välttää asfaltin kylmähalkailua, olisi parempi valita käyttöön polymeerimodifioitu bitumi. Polymeerimodifioitujen bitumien käyttöä rajoittaa tiepäällysteissä kuitenkin normaalia tiebitumia korkeampi hinta.

Laboratoriossa tutkittiin alustavasti 50-prosenttisen kaliumformiaattiliuoksen vaikutusta tieasfalttien kulumiseen, koska tieoloissa painottuu asfalttipäällysteen kulumiskestävyys toisin kuin lentokentillä. Varastointiaika jäänsulatuskemikaalissa oli ennen kulutusta 2 kk. Testimenetelmänä oli Prall-kulutuskoe standardin prEN 12697-16 perusteella. Tieasfaltti AB16 (B70/100) ja SMA16 (B70/100) kuluivat vähemmän kuin normaali vedessä varastoidut näytteet. Muiden jäänsulatuskemikaalien vaikutusta ei tutkittu. Tulokset osoittivat, että kaliumformiaatilla ei ollut välitöntä tieasfaltin kulumista lisäävää vaikutusta. Kulumistulosten pienen määrän perusteella lopullisia johtopäätelmiä kulumisvaikutuksista ei tässä tutkimuksessa kuitenkaan voitu vielä tehdä.

Kirjallisuuden perusteella happaman kvartsiittikiviaineksen kulumista oli tutkittu jäädytys-sulatus-testien vaikutuksesta. Jäätymis-sulatus-käsittelyjen aiheuttama kuluminen oli suurin, kun kiviaineksenä oli hapan kvartsiitti ja jäänsulatuskemikaalina 2-prosenttinen, laimea natriumformiaattiliuos. Tiepäällysteiden kulumista ja myös bitumin tartuntaa päällystekiviainekseen tulisi tutkia niin, että saataisiin tuloksia etenkin suomalaisista kiviaineksista. Jäänsulatuskemikaalien valinnassa tieasfalttikäyttöön ei lopullisia testausmenetelmiä ole vielä valittu.

Kirjallisuustulokset ja näiden tulkinta formiaattien vaikutuksista tieasfaltin materiaaleihin ja ominaisuuksiin eivät varsinaisesti olleet sellaisia, että ne estäisivät formiaatin jäänsulatuskäytön tiepäällysteillä. Formiaattien mahdollisessa käytössä olisi kuitenkin vielä hyvä lähemmin tarkastella tiettyjä, käyttöönotossa asfalttipäällysteiltä vaadittavia ominaisuuksia. Formiaatin valinnasta aroille pohjavesialueille saadaan lisäksi lopullinen varmuus vasta, kun tiedetään nykyistä tarkemmin hajoaako formiaatti riittävästi ennen kuin se saavuttaa pohjaveden. Asfalttipäällyste on pohjavesialueilla suunniteltava formiaattia käytettäessä tiiviiksi ja eristäväksi päällyskerrokseksi niin, että sen tyhjätila on enintään 3 til. %. Tämä parantaa etenkin asfaltin kiviaineksen ja bitumin välisen tartunnan kestävyyttä. Formiaatti hajoaisi ja haihtuisi tällöin myös suoraan asfalttipäällysteen pinnalta eikä sitä ehtisi kulkeutua kovinkaan paljon asfaltin rakenteeseen.

Asfalttipäällysteet koostuvat uusimisen jälkeen joskus myös vanhasta ja uudesta kulutuskerroksesta niin, että näiden välissä on käytetty sivelyn hapanta bitumiemulsiota yhdistävänä liima-aineksena. Formiaatin lisäystä ei tulisi kuitenkaan tehdä tiepäällystekohdissa, joissa on käytetty hapanta bitumiemulsioliimaa. Formiaatista voi tällöin happamissa olosuhteissa periaatteessa kehittyä pieniä määriä muurahaishappoa, jota asfaltti ei kestä liukenematta.

Keywords: formates, road pavements, influences, de-icing

SUMMARY

Based on literature, the influences of formate de-icing chemicals into the characteristics of road asphalt are investigated only somewhat in airfield conditions e.g. in Sweden, Norway, Canada and in Finland. Differences between normal road asphalt paving concrete, AC16 in Finland compared to airfield asphalt paving concrete are, however, so small that the results obtained from the airfield conditions are well applied also in road conditions.

Wear influences are not existing on airfields like in normal road conditions. That is why the wear of normal asphalt paving mixtures, influenced by potassiumformate de-icing chemical, was researched in laboratory. Based on present opinions, formates influence somewhat on the quality of asphalt pavements. Formates influence in different ways in road binder, bitumen, in aggregates and in resistance of adhesion between aggregate and bitumen. Influence in bitumen is determined by softness of bitumen. Potassiumformate is penetrating to surface of soft bitumen, B160/220, during the laboratory storage test, so effectively that the bitumen film is separating into the surface of this de-icing chemical. In compacted asphalt pavement the influence in adhesion between aggregate and bitumen seams to be smaller and is due to the tightness of the asphalt pavement. The precise influence mechanism of formate into the bitumen consistency and into the asphalt pavement characteristics has so far, however, been unknown and not well researched.

Influences of formates should be prevented by the improved mix-design of the consistency of the road pavements. Influences of formate in road bitumen are decreased with the harder road bitumen. The road bitumen, B160/220 is proved at least to be too soft as the road bitumen with formate chemical. When using potassiumformate the hard road bitumen, B70/100 should be selected. When avoiding cold-cracking in pavements, it should be better to select the polymer-modified bitumen (PmB) with the formates. PmBs are, however, in normal road asphalt use, compared to normal bitumen, more expensive.

The preliminary wear tests of road asphalt concretes after 2 months storage in 50 % potassiumformate water solution were carried out in laboratory. The wear test was the Prall wear test based on standard prEN 12697-16. Road asphalt concrete, AC16 (B70/100) and stone mastic asphalt concrete, SMA16 (B70/100) were worn less than the corresponding samples stored in normal water. Wear results showed that any immediate wear risk with potassiumformate was not detected. Influences of the other de-icing chemicals in wear were not researched. Because of the small data in wear results the final conclusions regarding wear influence could not be made in this research.

In literature, the abrasions typed wear of the acid aggregate, quartzite by icing and smelting cycled wear tests were researched. The wear of quartzite in this abrasion test was greatest when 2 % sodiumformate water solution was used in storage of the aggregate particles. That is why wear of road pavements and adhesion of bitumen to aggregate should be tested with formates more also with the Finnish road aggregates.

Interpretation of the results obtained from formates in literature was not such that it actually could prevent the use of potassiumformate in de-icing on the road surfaces. Both formates and acetates in literature survey behaved in de-icing of asphalt pavements, additionally, rather equally and better than urea chemical. Certain criteria, connected to possible use of potassiumformate in de-icing on the road surfaces must, however, still be studied more during the mix-design procedure of the road pavements. On the sensitive ground water areas, the selection of potassiumformate for de-icing needs still more results on the real degradation of the chemical. When using potassium on the sensitive ground water areas the mix-design of asphalt pavement layer should be done so that the maximum void content is 3 volume %. This improves adhesion between aggregate and bitumen. Formate will then dissipate and evaporate directly from the asphalt concrete surface that prevents also better the penetration of formate into the pavement structure.

Asphalt pavement structure, during the use of formate, should then be as dense as possible and remain without could-cracking. The asphalt pavements consist some times also of new and old asphalt pavement wearing layers and the acid bitumen emulsion is used as the glueing agent between these layers. Other glueing agents than bitumen emulsion are, however, better because the acid bitumen emulsion in contact with formate could at least, in theory, generate small amounts of formic acid that again can gradually dissolve the road pavement.

ESIPUHE

Asfalttipäälysteiden liukkaudentorjunnassa ovat formiaatit uusia ja lupaavia jäänsulatuskemikaaleja. Formiaatit valmistetaan orgaanisesta muurahaishaposta suoloina kuten kalium- tai natriumformiaatti. Nämä vesiliukoiset suolat hajoavat suhteellisen hyvin luonnossa, jolloin ensikokemukset formiaattien ympäristöystävällisyydestä ovat olleet parempia kuin perinteisen natriumkloridin. Pohjavesissä on esiintynyt tavallisen maantiesuolan aiheuttamia koronheit kloridipitoisuuksia. Suomessa lentokentillä kaliumformiaattiliuosta on käytetty liukkaudentorjuntaan. Samoin yhdessä siltakohteessa on kokeiltu formiaattia talviajan liukkaudentorjunnassa. Formiaattien käytöstä liukkaudentorjunnassa puuttuvat kuitenkin vielä lopulliset vaikutusarviot, vaikka ympäristövaikutusten arvioinnin osalta ollaan jo varsin pitkällä.

Tämän perusteella Tiehallinto käynnisti syksyllä 2001 VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan kanssa tutkimuksen, jossa tarkasteltiin formiaattien vaikutusta erityisesti tiepäälysteiden kestävyYTEEN.

Tutkimus päätettiin toteuttaa tarkastellen kirjallisuutta, tiedustellen eri asiantuntijoiden mielipiteitä kyselyllä ja tehden laboratoriokokeita kahdella perus-asfalttityypillä. Laboratorio-osioon kokeiksi valittiin tiepäälysteiden ominaisuuksista kulumisen ja tartunnan mittaaminen.

Tutkimuksen ohjausryhmässä ovat Tiehallinnosta toimineet seuraavat henkilöt:

- DI Katri Eskola
- DI Anne Leppänen
- DI Mats Reihe

Tutkimukseen kuuluneen kirjallisuuskatsauksen ja kyselytutkimuksen on tehnyt ja julkaisun kirjoittanut VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikassa FT Petri Peltonen.

Laboratoriokokeista on VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan Palvelukeskuksessa vastannut LuK Leena Saarinen.

Tutkimuksen ohjausryhmä on kommentoinut ja hyväksynyt raportin ennen sen julkaisemista.

Helsinki, toukokuu 2002

Tiehallinto
Palvelujen hankinta

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ	3
SUMMARY	5
ESIPUHE	7
1 JOHDANTO	11
1.1 Liukkauden torjunnan tausta	11
1.2 Formiaattilaadut	13
1.3 Tehdyn tutkimuksen tavoitteet	13
2 KIRJALLISUUSKATSAUS JA KYSELYTUTKIMUS	13
2.1 Formiaattien tutkimuksista Ruotsissa ja Suomessa	13
2.1.1 Formiaatin vaikutus bitumiin	14
2.1.2 Formiaatin vaikutus päällysteen ominaisuuksiin	16
2.2 Formiaattien vaikutuksen tutkimuksista Kanadassa	19
2.2.1 Formiaatin vaikutus kiviainekseen jäätymis- sulatuskäsittelyssä	19
2.2.2 Formiaatin vaikutus päällysteen mekaanisiin ominaisuuksiin	24
2.2.3 Halkaisuvetolujuudet	24
2.2.4 Elastisuusmoduulit	26
2.2.5 SWIFT 2000 -konferenssin esitelmien sisältö ja päätelmät	26
2.3 Kyselyyn eri maista saadut vastaukset	30
3 LABORATORIOKOKKEET TIEPÄÄLLYSTEILLÄ	32
3.1 Raaka-aineet, päällystetyypit ja testausmenettelyt	32
3.2 Formiaatin vaikutus tartuntalujuuden säilymiseen	33
3.3 Formiaatin vaikutus kulumiskestävyyteen	36
4 JOHTOPÄÄTELMÄT	38
4.1 Päätelmät kirjallisuudesta ja kyselytutkimuksesta	38
4.2 Päätelmät laboratoriokokeista	39
4.3 Asfaltin koostumuksen suunnittelu formiaatteja käytettäessä	40
5 YHTEENVETO	41
6 LÄHDELUETTELO	42
7 LIITTEET	44

1 JOHDANTO

1.1 Liukkauden torjunnan tausta

Eri jäänsulatuskemikaaleilla on tehty viime vuosina sekä tie-, lentokenttä- että katukäytössä melko paljon kotimaisia ympäristöselvityksiä. Eräs viimeisimpiä on Helsingin kaupungin Rakennusviraston Katusaston Katusuola-tutkimus Case:Helsinki, josta valmistui loppuraportti vuonna 2001 /1/. Liukkaudentorjunnassa käytetään jäänsulatuskemikaaleja alentamaan veden jäätymislämpötilaa ja ehkäisemään liukkausvaaroja niissä syksy-, talvi- ja kevätlämpötiloissa, joissa jäätä ennakoidaan muodostuvan. Yleisin jäänsulatuskemikaali on ollut natriumkloridi (NaCl). Tämän rinnalla on käytetty kalsiumkloridia (CaCl_2) sekä uusia lähinnä kokeilujäänsulatuskemikaaleja kuten magnesiumkloridi (MgCl_2), kalsiummagnesiumasetaatti (CMA), kaliumasetaatti (KAc) ja kaliumformiaatti (KFO). Taulukko 1 esittää talvikunnossapidon suolojen käyttömääriä vilkkaimmin liikennöidyllä pääkaupunkiseudulla, muualla maassa ja eräissä vertailumaissa /1/.

Jäänsulatussuolaa käytettiin v. 1999 Uudenmaan tieverkolla noin 7 -8 tonnia/km. Muualla maassa suolaa käytetään liukkaudentorjunnassa vilkkaalla tieverkolla yleensä Uttamaata vähemmän. Vuotuinen suolan käyttömäärä yleisillä teillä on koko maassa alle 200 000 t. Perinteisen suolan (NaCl ja CaCl_2) käyttöön liittyvien pohjavesi- ja korroosiohaittojen perusteella on eri puolilla maailmaa jouduttu etsimään vaihtoehtoisia jäänsulatuskemikaaleja, jotta etenkin natriumkloridi voitaisiin turvallisesti korvata. Tiehallinto on tutkinut Suomessa klorideja korvaavana suolana mm. kalsiummagnesiumasetaattia (CMA) ja kaliumformiaattia. Lentokenttien rullausteilla Ilmailulaitos on korvannut pitkään käytettyä, luontoa rehevöittävää ureaa kaliumasetaatilla sekä viime vuosina myös kaliumformiaatilla.

Natriumformiaatti (NaFO) on rakeinen, lentokentillä käyttöön otettu jäänes-totuote. Tämän jäänsulatusominaisuudet ovat samaa luokkaa kuin toisen vaihtoehdon natriumasetaatin. Natriumformiaatin kokeilut on aloitettu Helsinki-Vantaan lentokentän rullausteilla. Formiaattien katsotaan tällä hetkellä olevan ympäristöystävällisempiä kuin urea. Formiaattia pidetään myös biohajoavana tuotteena. Kaliumformiaattia käytetään yleensä 50-prosenttisena vesiliuoksena. Formiaattiliuosta on myös kokeiltu Helsinki-Vantaan lentokentän lisäksi liukkaudentorjuntaan ainakin Oulun ja Rovaniemen lentokentillä. Kokemukset uusien jäänestokemikaalien käytöstä ovat täten selvästi laajemmat lentokentillä kuin tiekäytössä.

Tieverkon suolan käytön keskiarvomäärät on esitetty taulukossa 1 /1/. Viitteen /1/ perusteella esimerkiksi natriumkloridin käyttömäärä liukkaudentorjuntaan (tilasto vuodelta 1999) Uudenmaan vilkkaimmalla tieverkolla oli noin 28 000 t. Käyttömäärät kuitenkin vaihtelevat vuosittain.

Taulukko 1. Suolan (NaCl) käyttömäärät Helsingissä, Uudenmaan alueella, pääkaupunkiseudulla ja eräissä vertailumaissa /1/.

Maa/alue	Koko talven käyttömäärä			Kertalevitys g/m ²
	(1) kg/m ² /a	t/km/a ⁽²⁾	t/km ² /a ⁽³⁾	
H:ki normaali talvi	1,4 - 1,7	10 - 12	27	2 - 30
H:ki poikkeus-talvet 1998 - 2000	-	17,7 - 24,9	-	-
Tiehallinto Uu-simaa	-	4 - 10	-	5 - 20
Tiehallinto pää-kaupunki-seutu 1998- 2000	-	13,4 - 14,5	-	-
USA	-	12 - 24	-	15 - 40
Kanada/Toronto	-	-	200	-
Ranska/moottoritiet	-	15 - 150	-	20 - 100 (2 - 300)
Belgia	5	-	-	-
Ruotsi / koko maa	-	9,5 - 14,5	-	-
Pohjois-Japani 1990 luvun alku	-	1,4 - 2,0	-	-

Huom: (1) Levitys tien pinta-alaa kohti talvessa, (2) levitys tiepituutta kohti talvessa (tien leveys yleensä 7 m), (3) käyttö laskettuna suolatun alueen koko pinta-alaa kohti.

Kaliumformiaatti (K₂CO₃) on epäorgaanisista suoloista poiketen orgaanisen hapon eli muurahaishapon suola /2/. Kaliumformiaatin kemiallinen kaava on HCOOK ja muurahaishapon HCOOH. Kaliumformiaatti on ehdolla vaihtoehtoiseksi jäänsulatuskemikaaliksi epäorgaanisille klorideille. Kaliumformiaatin vaikutuksia tiepäällysteiden kestävyteen on tämän perusteella selvitetty tässä tutkimuksessa. Tutkimuksessa on sovellettu etenkin lentokentiltä saatuja kokemuksia tiekäyttöön. Soveltaminen on mahdollista, koska varsinkin Suomessa sekä lentokentillä että tiestöllä käytetty asfalttipäällyste on hyvin samanlaista koostumukseltaan ja rakeisuudeltaan (asfalttipäällyste AB16).

Lentokentillä pyritään samoin kuin tiekäytössä jäykkään ja deformaatiota kestäväan asfalttipäällysteeseen. Lentokentillä pyritään siihen, että asfaltin pinnalla on erityisen hyvä kitka ja että pinnasta ei irtoa kiviä. Vastaavaa kulumisongelmaa lentokentillä ei ole kuten tiekäytössä. Kulumista ehkäistään karkean kivimastiksiasfaltin käytöllä valiten karkea SMA18-asfalttityyppi. SMA18-päällystettä ei ole käytetty Suomen lentokentillä. Tiepäällysteiden asfalttityyppien määrä on täten laajempi. Sekä lentokentillä että tiepäällysteissä voidaan käyttää kumimaista polymeerimodifioitua bitumia (PmB). Tämä on kuitenkin perinteistä tiebitumia kalliimpaa. Eräissä Euroopan maissa PmB:t ovat kuitenkin yleisempiä. Niissä maissa, joissa ei ole nastarengaskulutusta, on voitu myös tehdä asfalttipäällysteitä pienemmästäkin kiviaineksen raakoosta kuin 16 mm (AB16). Käytössä voi tällöin olla esim. hienempi kivimastiksiasfaltti, SMA11. Yleisin lentokentillä käytetty bitumilaatu on ollut Pohjois-Suomessa bitumi B160/220 ja Etelä-Suomessa bitumi B70/100.

Yleisin tiebitumi on bitumi B70/100. Lentokentille bitumit on valittu niin, että niiden viskositeetti on mahdollisimman korkea. Bitumin laadun osalta Ilmailulaitoksen viskositeettivaatimus onkin ollut vähän korkeampi kuin vastaavat tiebitumin vaatimukset Asfalttinormeissa.

1.2 Formiaattilaadut

Yritysten internet-sivuilla /3/, /4/ mm. on kuvattu eri kauppanimikkeillä nykyisin toimitettavia, jäänsulatukseen etenkin lentokenttien rullauksille tarkoitettuja formiaattikemikaaleja; esim. kauppanimikkeet Meltium, Safeway ja Clearway.

1.3 Tehdyn tutkimuksen tavoitteet

Parhaillaan on meneillään teiden ja lentokenttien vaihtoehtoisten jäänsulatuskemikaalien ympäristövaikutuksia kartoittava tutkimus /5/, jossa on mukana useita osallistujia ja jonka päärahoittajana on Tiehallinto. Jäänsulatuskemikaalien kuten KAc, KFo, MgCl₂, CMA, CaCl₂ ja NaCl kulkeutumista maaperässä on tutkittu laboratoriokokein. Kokeissa lupaavimmaksi vaihtoehtoiseksi liukkaudentorjunta-aineeksi osoittautui kaliumformiaatti. Tätä liukkaudentorjunta-ainetta kokeillaan todellisissa olosuhteissa talvikaudella 2002 - 2003.

Koska formiaattien ympäristövaikutuksista jo oli käynnissä hanke, eikä vaikutuksia päällysteiden laatuun tunnettu riittävästi, asetti Tiehallinto VTT:n tutkimuksen perustavoitteeksi kartoittaa etenkin sitä, miten formiaatit vaikuttavat tiepäällysteisiin ja mitä formiaattien vaikutuksesta asfalttiin tällä hetkellä tiedetään.

Tarkastelun, jonka tulokset on esitetty tässä julkaisussa, tuli perustua taustakirjallisuuteen, asiantuntijakyselyyn ja lisäksi laboratorio-osioon, jossa formiaatin tietyt perusvaikutukset asfaltin ominaisuuksiin kuten tartuntaan ja kulumiseen testattiin.

2 KIRJALLISUUSKATSAUS JA KYSELYTUTKIMUS

2.1 Formiaattien tutkimuksista Ruotsissa ja Suomessa

Ulkomaisten kirjallisuusreferenssien niukka määrä osoitti, että vaihtoehtoisten jäänsulatuskemikaalien kuten formiaattien vaikutuksesta tiepäällysteiden ominaisuuksiin on tehty toistaiseksi vain vähän tutkimusta. Laajin Pohjoismaissa toistaiseksi tehty formiaatin vaikutuksia selvittänyt tutkimus on tehty Ruotsin VTI:ssa pääosin laboratoriotutkimuksena /6/. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää formiaatin käyttöä lentokenttiä varten.

2.1.1 Formiaatin vaikutus bitumiin

VTI:n tutkimuksessa /6/ selvitettiin uusien jäänestokemikaalien kuten formiaatin vaikutusta aluksi puhtaaseen ruotsalaiseen bitumiin B180. Tämä bitumi vastaa lähinnä suomalaista, pehmeää tiebitumia B160/220. Tulosten perusteella lievästi eniten bitumiin vaikuttivat kalium- ja natriumformiaatti. Tulosta selitettiin tutkimuksessa /6/ seuraavasti. Eri raakaöljyistä valmistetut bitumit ovat kemiallisesti ja fysikaalisesti erilaisia. Bitumipinnoilla on myös erilaiset vesihakuisuusominaisuudet. Kovempi bitumi vastustaa enemmän kemikaalien kuten liukkaudentorjuntakemikaalien vaikutusta. Kemikaalien vaikutusaika, lämpötila ja kemikaalin konsentraatio ovat tärkeitä bitumien kemikaalien kestoon vaikuttavia tekijöitä. Tulokseksi saatiin, että bitumi B180 on melko pehmeä ja, että se ei vielä riittävästi vastusta jäänsulatuskemikaalien vaikutusta.

Formiaateilla on korkea, emäksinen pH-arvo 9 - 12 ja ne ovat lisäksi voimakkaan vettäsitovia eli hygroskooppisia aineita. Formiaattien vaikutuksesta tiepäälysteiden pinnat ovat tällöin jatkuvasti kosteina. Tutkimusten /6,7/ mukaan formiaatti kykenisi tällöin neutraloimaan bitumissa olevat luontaiset karboksyylihapot ja happamien kivipintojen piihapot. Tästä voisi periaatteessa seurata asfalttiin tartuntahäiriöitä bitumin ja mineraalisen kivipinnan välille, koska tartunnassa tarvittavat, karboksyylihappopäät periaatteessa purkautuvat.

Kaliumformiaatilla (50-prosenttinen liuos) on erittäin korkea tiheys, luokkaa $1,35 \text{ g/cm}^3$ (25°C). Jäänsulatuskemikaalin penetroitumisen kannalta lieenee merkitsevintä se, missä pitoisuudessa ja tiheydessä jäänsulatuskemikaalia käytetään. Suuren tiheyden omaava jäänsulatuskemikaaliliuos nostaa bitumia pintaan enemmän. Vertailuksi esim. 18-prosenttisen NaCl-liuoksen tiheys on vain 1,13, CMA:n tiheys (25 -prosenttinen liuos) on 1,14 ja urean tiheys (50-prosenttinen liuos) 1,15. Asetaattien sekä formiaattien käyttöliuosten tiheystaso 1,28 - 1,35 on täten korkein. Asfaltin huokosissa tällä voi olla merkitystä bitumin syrjäytymisen tyyppisille tartuntahäiriöille, koska liuosten tiheys on suurempi kuin bitumeilla tiheys yleensä. Ruotsalaisten tavallisten tiebitumien B180, B85, B60, B40 ja SBS-polymeerimodifioitu bitumi (pehmenemispiste 85°C) VTI:ssa /6/ mitatut tiheydet olivat vastaavasti vain luokkaa: 1,016, 1,023, 1,025, 1,028 ja $1,001 \text{ g/cm}^3$ (25°C).

Ruotsalaisessa tutkimuksessa /6/ selvitettiin bitumin B180 (pehmein tiebitumi) kestävyyttä kaliumformiaattia vastaan. Vaikutusta tutkittiin säilyttäen rengas-kuula pehmenemispistemuotteihin valettuja bituminäytteitä tietty aika formiaattiliuoksessa. Säilytyslämpötilat olivat $+20^\circ\text{C}$ ja $+40^\circ\text{C}$ ja säilytysajat 24 h ja yksi viikko. Bitumi muutti muotoaan formiaatin vaikutuksesta rengas-kuula -muotissa jo 24 h kuluttua. Voimakkaan muodonmuutoksen vaikutuksesta bitumia nousi säilytysastiassa liuoksen pintaan kovaksi bitumikalvoksi. VTI:n tutkimuksessa /6/ verrattiin kolmea jäänsulatuskemikaalia; kahta kaliumasetaattia ja yhtä kaliumformiaattia. Kaikilla jäänsulatuskemikaaleilla esiintyi vastaava bitumin pintaannousu. Tähän pintaannousuun arvioitiin formiaatin vaikuttavan lievästi eniten. Bitumin pintaannousu formiaatin vaikutuksesta on esitetty kuvassa 1. Pehmenemispistearvo sen sijaan ennen ja jälkeen formiaattivarastoinnin ei sanottavasti muuttunut. Myös asetaattiliuoksessa säilytetty bitumi nousi pintaan. Tulokset indikoivat selvityksen tekijän /6/ mielestä mm. sitä, että jos pehmeää tiebitumia vastaavaa laatua B180 käytetään, on tällä bitumilla olemassa riski sille, että bitumia voi periaattees-

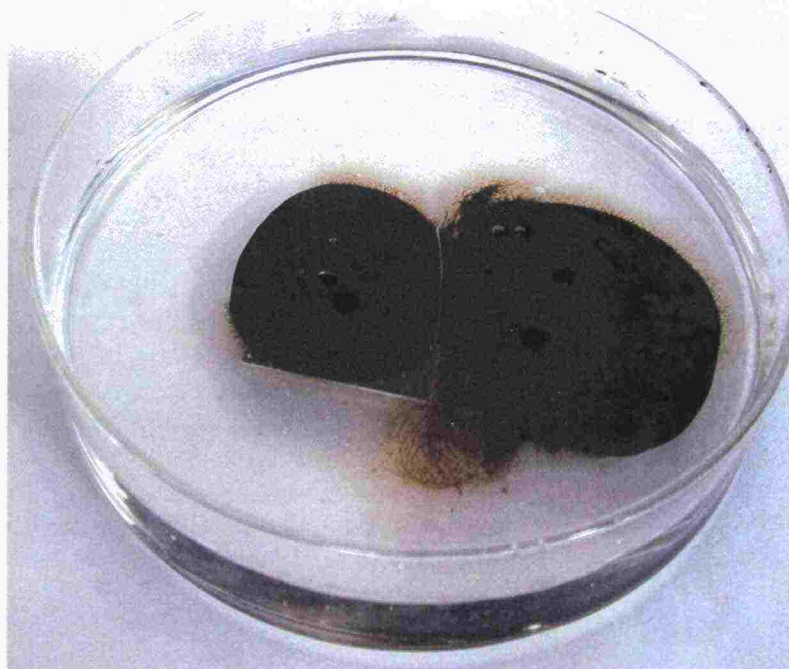
sa vastaavasti nousta pintaan myös asfalttipäällysteestä, kun bitumi irtoaa kiviaineksesta. Tämän tuloksen perusteella tehtiin johtopäätelmä, jonka perusteella formiaatin käytön yhteydessä tiebitumi ei saa olla ainakaan kaikkein pehmeintä laatua.

Vastaavia kokeita kuin Ruotsin VTI:ssa, tehtiin myös suomalaisella bitumilla B160/200 VTT:n Ilmailulaitokselle tekemässä lentokenttien vaurioselvityksessä /8/. Tässä tutkimuksessa /8/ havaittiin 50-prosenttisen kaliumformiaattiliuoksen aivan samoin kulkeutuvan bitumin pintaan siksi voimakkaasti, että bitumikalvo irtoaa. Bitumikalvon irtoaminen ja pintaannousu kuvassa 1 on referoitu VTT:n tutkimuksesta /8/.

Kuvasta 1 nähdään bitumin erottuminen, jolla tarkoitetaan muottiin valetun bitumin B180/200 pintakalvon riskialtista kuroutumista vähitellen jäänsulatuskemikaalin pintaan kovaksi bitumikalvoksi. Syytä ilmiöön ei ole lähemmin esim. bitumin sisältämien fluksausaineiden kemiallisten reaktioiden perusteella tutkittu eikä sitä toistaiseksi tarkkaan tiedetä. Erääksi mahdolliseksi syyksi voidaan arvioida esim. sitä, että formiaatin orgaanisen hiiliketjuosan kulkeutuminen bitumin pintarakenteeseen saattaisi olla etenkin pehmeällä bitumilla liian hanakka. Tällöin bitumia erottuu jäänsulatuskemikaalin korkean tiheyden vaikutuksesta kovahkoksi kalvoksi jäänsulatuskemikaalin pintaan. Varsinaisesta liukenemisilmiöstä ei näyttäisi olevan kyse.

VTI:n tulosten /6/ perusteella formiaatin kuvan 1 kaltainen vaikutus bitumiin on sitä suurempi, mitä pehmeämmästä bitumista on kysymys. Tutkimuksessa /6/ verratut jäänsulatuskemikaalit olivat seuraavat: KAc, KFo, Urea, glykoli + KAc, CMA ja NaCl. Näistä suurin vaikutus bitumiin rengas-kuula -testissä (kuva 1) oli formiaatilla. CMA:n vaikutus oli pienempi kuin asetaateilla ja vähiten vaikutti urea. Jäänsulatuskemikaalit vaikuttivat vähiten PmB-bitumilla, joka on modifioitu kumimaiseksi elastisella polymeerilla. Tämän bitumin pehmenemispiste oli niinkin korkea kuin 90°C. Tavallisen tiebitumin pehmenemispiste on vain luokkaa 38 - 48 °C.

Tavallisilla bitumeilla vaikutus laski jonkin verran, kun siirryttiin pehmeästä bitumista B180 kovempiin tiebitumeihin B85, B60 ja B40. Kovemmilla tiebitumeilla B60 ja B40 pitempiaikainen varastointi huoneenlämmössä kaliumformiaatissa kuten myös asetaatissa sai sekin aikaan näytteissä kuvan 1 kaltaisen muutoksen. VTI:n tutkimusten /6/ bitumien alkuperä oli Venezuelalainen. Tämä bitumi on luontaisesti melko hapan bitumi ja täten ns. korkeamman happoluvun bitumi. Teoriassa Lähi-Idän vähemmän "happamat" bitumit saattaisivat reagoida emäksisen formiaatin kanssa vähemmän. Tämän perusteella VTI valitsi tutkimukseen myös tiebitumin B85, jonka happoluku oli pienempi. Tällä tiebitumilla B85 oli pehmenemispiste 48 °C. Kaliumformiaattisäilytyksen jälkeen, säilytys 40°C / 24 h, tämäkin bitumi B85 erottui pintaan samoin kuin kovemmat bitumit B60 ja B40. Happoluvun ei näin ollen osoitettu selittävän bitumin formiaatin kestoaa.



Kuva 1. Bitumia B160/220 erottuneena 50-prosenttisen KFo-liuoksen pintaan. Varastointiaika 10 vrk, säilytyslämpötila huoneenlämpö. Kuva referenssistä /8/.

VTI:n tutkimuksissa /6/ polymeerimodifioidut bitumit kestivät formiaatin vaikutusta parhaiten. Näilläkin, ilmeisesti polymeerimodifioidun bitumin koostumuksesta riippuen, saattoi korkeampi $+40^{\circ}\text{C}$ varastointi aiheuttaa lievää muutosta. Tutkimuksessa löytyi kuitenkin ns. lentokoneiden polttoaineita kestävä, korkeasti polymeerimodifioitu bitumi (laatu JFR), joka kesti myös täysin muuttumatta. Tuotteen pehmenemispiste oli tuolloin kuitenkin erittäin korkea, $+90^{\circ}\text{C}$. Näistäkin JFR-laaduista eivät kuitenkaan kestäneet bitumit, joiden pehmenemispiste oli $+51$ ja $+64^{\circ}\text{C}$.

2.1.2 Formiaatin vaikutus päällysteen ominaisuuksiin

Tutkimuksen /6/ säänkesto -ja harjausosiossa tutkittiin asfalttipäällystelaattoja, jotka oli sahattu neljän lentokentän rullaustiestä. Laattoja vanhennettiin alustavissa kokeissa vaihteittain 13 viikon ajan. Laboratoriovanhennuksen arvioitiin vastaavan noin kahden vuoden aikaa käytännön lentokenttätöoloissa. Laattoja harjattiin teräsharjoin säännöllisesti. Havaintona kokeen päätyttyä oli, että ne harjat, joilla oli harjattu kaliumasetaatilla, kaliumformiaatilla ja asetaatin ja glykolin seoksella käsitellyt laattapintoja olivat teräsaltaan hyvin mustia.

Tutkimuksessa /6/ esitettiin, että lentokenttien päällysteissä huomattiin vaurioita, kun ympäristösyiden perusteella ureasta luovuttiin. Ruotsissa uusien jäänsulatuskemikaalien hyväksyntää tutkittiin asfaltin pinnan tartuntatestillä, VTI/LFV Metod 1-98, Rev.1999-06. Tartuntatesti, kuva 2, kuvaa jäänsulatuskemikaalien vaikutusta asfalttipäällysteen pintakerrokseen. Vetojännityksen

muutos mitataan testissä asfalttinäytteille ennen ja jälkeen varastoinnin päällysteen pinnasta. Näytteisiin imeytetään jäänsulatuskemikaalia 14 vrk ajan. Varastointilämpötila ennen vetoa on +40°C. VTT teki vastaavia testejä v. 2001 mittauksissa /8/. Kuva 2 on referoitu VTT:n käyttämästä vetomenetelmästä /8/.



Kuva 2. Formiaatin vaikutuksen tutkiminen asfalttiporakappaleesta vetojännityskokeella VTT:ssa /8/.

VTI:ssa /6/ tehtiin ennen vetojännityskokeita (kuva 2) sisäinen vertailukoe siitä, miten asfalttipäällysteen pinta suhtautuu lämpövaikutukseen, kasteluun, jäänsulatuskemikaalin käyttöön ja harjaukseen. Päällysteen laatu oli tiivis päällyste, merkintä ABT16(B85). Käsittelyliuoksina olivat urea ja kaliumformiaatti. Kahden viikon harjauksikäsitteilyn jälkeen havaittiin, että harjaus oli tuottanut silminnähtävän vaikutuksen pintaan. Pinnasta määritettiin vetojännitykset, kun harjaus viiden viikon kuluttua keskeytettiin. Vetojännitystuloksissa havaittiin, että päällystepinnan konsistenssin menetys jäänsulatuskemikaaleilla tapahtui hyvin ohuessa pintakerroksessa. Tämän perusteella tartuntaa onkin lähdetty tutkimaan juuri kuvan 2 tyyppisellä koemenettelyllä.

Testillä (kuva 2) tutkittiin VTI:ssa /6/ formiaatin vaikutusta päällysteen laatuun. Päällysteenä oli tiivis asfaltti ABT(B180). Tyhjätila päällysteessä oli noin 6 %. Koenäytteinä käytettiin asfaltista Marshall-vasaralla puristettuja koelieriöitä. Näytteitä säilytettiin kuivina sekä jäänsulatusliuokseen upotettuina. Adheesiovetojännityksen arvot kuivina säilytetyillä näytteillä olivat 0,7 - 0,8 N/mm² ja liuoksessa säilytetyillä 0,2 - 0,6 N/mm². Suurin vaikutus tartuntajännitykseen oli natriumformiaatilla (tiheys 1,31 g/cm³ ja pH 12,3) ja kaliumformiaatilla (tiheys 1,35 g/cm³ ja pH 11,3). Säilytyksen jälkeen formiaateilla tartuntajännityksen arvo oli 0,2 N/mm². Natriumformiaatissa säilytetyillä näytteillä havaittiin visuaalisesti lisäksi päällystemateriaalia irronneen näytteistä. Pienin vaikutus oli CMA:lla, 10-prosenttinen liuos, tiheys 1,05 ja pH 7,7, jolloin säilytyksessä tartuntajännitys laski arvoon 0,6, kun taas asetaateilla se laski arvoon 0,5 N/mm².

Suomessa päällystepinnan tartuntatestiä (kuva 2) sovellettiin lentokenttien vaurioselvityksessä v. 2001 /8/. Tulokset ovat taulukossa 2 /8/. Tuloksista nähdään, että kentän no. 1 porapaloissa tartuntajännitys (maksimitartunta-voima) laski päällysteellä AB16 formiaatilla arvoon 0,32 , asetaatilla arvoon 0,27 ja urealla arvoon 0,66. Asfaltin jäänsulatuskemikaalin kesto oli parempi, kun bitumina oli erittäin kovalla luonnonbitumipulverilla (gilsoniittijauhe) jäykistetty bitumi. Ureaa käytettäessä tartuntavoima oli tällä bitumille niinkin korkea kuin $1,70 \text{ N/mm}^2$. Formiaattia käytettäessä gilsoniitimodifioidunkaan bitumin tulos ei silti ollut kuin $0,33 \text{ N/mm}^2$.

Koska päällysteiden tarttuvuutta arvioitaessa on Suomessa yleensä käytetty halkaisuvetolujuustestillä (hvl-testin periaatekuva, ks. myöhemmin kuva 7) tehtävää tarttuvuuslukumäärittystä, testasi VTT näytteet myös hvl-menetelmällä. Näytteinä käytettiin samoja koelieriöitä, joista aluksi oli tutkittu pinnan tartuntajännitys. Tämä on huomioitava tuloksien tulkinnassa. Tulokset hvl-testeistä ovat taulukossa 3 /8/. Jäänsulatuskemikaaleilla hvl-tarttuvuusluku (taulukko 3) säilyi yleensä korkeana eli tarttuvuusluvun arvo oli $> 80 \%$. Kentältä no. 1 poratuista AB16 k1-näytteistä (kenttä 1, käsitelty formiaatilla) tarttuvuusluku jäi jonkin verran alle vaaditun arvon, ollen noin 77% . Urealla saatiin myös hvl-tarttuvuusluku, joka oli vain noin 60% , ks. taulukko 3.

VTI:ssa /6/ tehtiin päällysteiden vetojännitystartuntakokeita myös niin, että varastointiaikaa lisättiin 2 kk asti varastointilämpötilassa, $+40 \text{ }^\circ\text{C}$. Kaikilla jäänsulatuskemikaaleilla oli tartunta selvästi huonompi kuin normaalisailytyksessä 14 vrk jälkeen. Natriumformiaatissa varastoidut näytteet olivat hajooneet siinä määrin, että adheesioteestausta ei voitu tehdä.

VTI:n tutkimuksessa /6/ referoitiin myös päällysteille tehdyistä sykloitetyistä säänkestokokeista /9/. Säänkestosimulaattori sijaitsee Bygghorsk-laboratoriossa Trondheimissa Norjassa. Käsittelyyn kuului jäänsulatuskemikaalin ruiskutus päällystepintaan kahdesti päivässä sekä pinnan säännöllinen harjaus lumenpoiston tapaan. Altistus kesti 13 viikkoa. Näytteet saivat UV-säteilytystä ja koe vastasi noin kahden vuoden altistusta jäänsulatuskemikaalivaikutuksille Pohjoismaiden lentokenttäoloissa.

Tutkituista asfalttipinnoista kokeissa /9/ lähinnä ruotsalaista tieasfalttia oli päällyste Landvetterin kentältä, tyyppi HAB16 (B85); kova asfalttibetoni, jossa on sideaineena bitumi B85. Tämän päällysteen pintaan oli kuitenkin lisäksi imeytetty polymeeribituminen kerros, jota tiepäällysteessä ei ole. Mikroskooppisessa tarkastelussa havaittiin, että harjaus oli poistanut kaliumformiaatissa polymeeribitumista kerrosta. Käsittelyssä pintabitumi oli kovettunut. Sää- ja liuoskäsittelysimuloinnissa formiaatilla päällysteen tarttuvuus myös laski vetojännityskokeissa.

Taulukko 2. Adheesiotulokset vetojännityskokeista (maksimitartuntavoima) eri jäänsulatus-kemikaaleissa säilytetyillä päällystenäytteillä /8/.

Ominaisuus	AB16 k1 ilma	AB16 k1 vesi	AB16 k1 Fo	AB16 k1/ aset.	AB16 k1/ urea	AB16 k2 ref. Fo	AB16 gils.ref Fo	AB16 gils.ref. urea
Murto- kuorma, N	1698	1534	637 (595)	531 (553)	1302	502 (595)	647 (676)	3345 (2787)
Maksimi tartunta- voima, $^1\text{N/mm}^2$	0,86	0,78	0,32 (0,30)	0,27 (0,28)	0,66	0,26 (0,30)	0,33 (0,34)	1,70 (1,42)
Arvioitu paras murtuma- suhde liimasta/ massasta	5/95	10/90	90/10	90/10	10/90	95/5	90/10	0/100

Huom: ¹Uusinta-arvot suluissa, k1 = kentältä 1 poratut näytteet AB16(B180/200), k2 = kentältä 2 poratut näytteet AB16(B70/100), Fo=formiaatti.

Taulukko 3. AB16-poranäytteiden¹ tarttuvuusluvut hvl-menetelmällä /8/.

Päällyste	Säilytystapa/ liuos	hvl, (ka) KPa	tarttuvuus- luku, % ilma- näytteet
AB16 K1	Ilma	1436,0	-
AB16 K2	Ilma	1549,6	-
AB16 K1	Vesi	1295,1	90,2
AB16 K2	Vesi	1445,0	93,2
AB16 K1	Formiaatti	1107,6	77,1
AB16 K2	Formiaatti	1390,5	89,7
AB16 K1	Asetaatti	1344,3	93,6
AB16 K2	Asetaatti	1425,1	92,0
AB16 K1	Urea	867,6	60,4 ¹
AB16 K2	Urea	1248,5	80,6

Huom: ¹Ureasarja vaurioitui hieman vetojännityskokeessa. Taulukon 3 näytteet ovat samoja kuin, mitä on käytetty tuotettaessa taulukon 2 tulokset.

2.2 Formiaattien vaikutuksen tutkimuksista Kanadassa

2.2.1 Formiaatin vaikutus kiviainekseen jäätymis-sulatuskäsittelyssä

Kanadassa on tehty ainakin kaksi laajempaa perustutkimusta /10 - 11/ jäänsulatuskemikaalien vaikutuksesta päällysteiden raaka-aineiden ominaisuuksiin lentokenttien rullauksella. Tiepäällysteillä tutkimusta ei ole varsinaisesti tehty, mutta koska erot tiepäällysteisiin nähden ovat melko pienet, voidaan tuloksia soveltaa myös vaikutusten tarkasteluun tiepäällysteillä.

Kanadassa järjestetään alan johtava, lentokenttäpäällysteisiin erikoistunut SWIFT-konferenssissa, eng. "Summer Winter Integrated Field Technologies" - konferenssi. Viimeksi tämä konferenssi järjestettiin Calgarissa v. 2000.

Tällöin konferenssissa referoitiin lisäksi yhteenvedot /12 - 14/ nykykäytystä valita jäänsulatuskemikaalit lentokenttäolosuhteisiin. Seuraavassa näitä tuloksia on tarkasteltu yleisesti niiltä osin, jotka ovat sovellettavissa myös jäänsulatuskemikaalien valintaan tiepäälysteille.

Tutkimuksessa /10/ selvitettiin jäänsulatuskemikaalien vaikutusta suoraan päällystekiviaineiden ominaisuuksiin. Tutkittavina kiviaineina olivat kaksi tyyppiä; kalkkikivi ja kvartsiitti eri raekoissa, 4,75 - 9,5 mm ja 12,7 - 19,1 sekä 22,2 - 25,4 mm. Jäänsulatuskemikaalien vaikutusta tutkittiin urealla, natriumformiaatilla ja kaliumasetaatilla. Näistä valmistettiin vesiliuokset, joiden pitoisuudet olivat 1, 2, 5, 10 ja 50 %. Eniten kiviaineiden kulumiseen (käännetty eng. kielisestä sanasta "abrasion") vaikuttava jäänsulatusliuoksen konsentraatio haarukoiitiin aluksi tutkimuksen osassa A käyttäen 30 syklin jäätymis-sulatuskoetta. Kun jokaista kiviainesraekokoa ja tyyppiä vastaavat kriittiset jäänsulatuskemikaalin eniten vaikuttavat pitoisuudet oli määritetty, tehtiin näillä kriittisillä pitoisuuksilla edelleen kiviainesten lopulliset kestävyyskokeet tutkimusosassa B niin, että syklien määrä oli yhteensä 50.

Kokeissa punnittiin kiviainesfraktioita 800 g. Kiviin imeytettiin jäänsulatuskemikaaleja 24 h ajan suljetuissa muoviasioissa. Jäätyminen aikaansaatiin -25 °C pakastimessa ja sulaminen huoneenlämpötilassa. Kiviainesrakeet poistettiin termostointiasioista punnittaviksi jokaisen viiden syklin jälkeen. Yhden jäätymis-sulatussyklin pituus oli 24 h. Kun kiviaines poistettiin termostointiasiasta, kiviainesta käsiteltiin ennen punnitusta pesuseuloin ja kuivaten 24 h ajan huoneenlämmössä. Kiviainesten kulumisen (abraasio) määritettiin %-arvona painohäviö prosentteissa alkuperäisestä painosta. Näin saadusta painohäviöarvosta käytettiin lyhennettä APWL, käänös eng. kielisestä sanoista: "Accumulated Percentage Weight Loss". APWL-arvot esitettiin tulokseksi jokaiselle tutkitulle kiviaines-/jäänsulatuskemikaali - yhdistelmälle syklien lukumäärän funktiona. Tulokset 30 syklin jälkeen kalkkikivifraktiolla 12,7 - 19,1 mm natriumformiaatissa ovat kuvassa 3. Tulokset vastaavalla kvartsiittifraktiolla ovat kuvassa 4. Tulokset osoittivat, että ns. kriittinen eli kiven pintaa kuluttava jäänsulatuskemikaalin pitoisuus oli yllättävän pieni, vain 1 - 2 %.

Kuvien 3 ja 4 perusteella 50-prosenttinen natriumformiaattiliuos kulutti kalkkikiveä veden jälkeen vähiten, kun taas kvartsiittia kulutti vähiten 10-prosenttinen liuos. Kokonaiskriittisen 30 syklin jälkeen 10-prosenttisella liuoksella kalkkikiven APWL-arvo oli noin 17 % ja vastaava arvo kvartsiitilla noin 30 %. Natriumformiaatti kulutti täten hapanta kvartsiittia enemmän. Yhteismitallinen, vähemmän kuluttava pitoisuus olisi tällöin lähempänä liuospitoisuutta 10 %. Kun syklyksistä saatuja tuloksia samalla fraktiolla ja eri jäänsulatuskemikaaliliuoksilla verrattiin kriittisten, kiviainesta eniten kuluttavien pitoisuuksien (1- 2 %) perusteella, saatiin tässä tutkimuksessa kemikaalit abraasion osalta tiettyyn vaikutusjärjestykseen. Näitä tuloksia esittävät kuvat 5 ja 6.

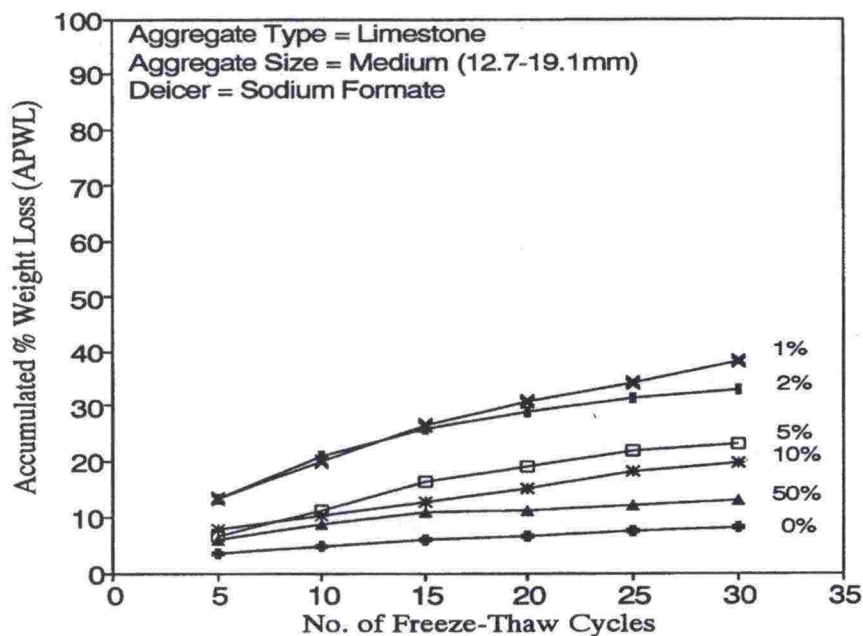


Fig. 4 : Effect of Solution Concentrations on Freeze-Thaw Durability of Limestone

Kuva 3. Natriumformiaatin liuospitoisuuden vaikutus jäädyttämisen ja sulattamisen aikaansaamaan kulumiseen kalkkikivellä, ns. APWL-arvot /10/.

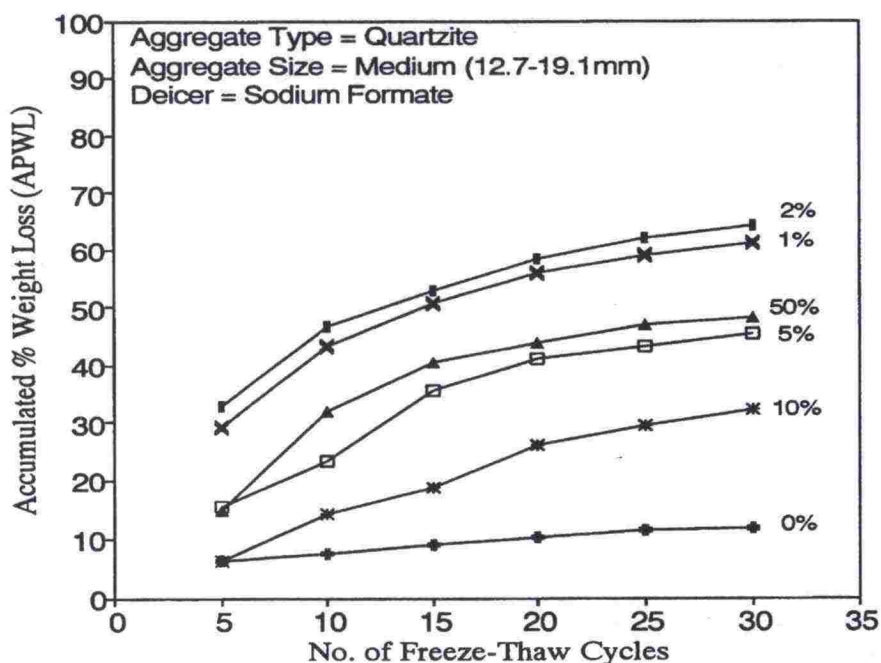


Fig. 5 : Effect of Solution Concentrations on Freeze-Thaw Durability of Quartzite

Kuva 4. Kvartsitiin jäätymis-/sulamiskuluminen natriumformiaattiliuosten vaikutuksesta /10/.

Kuvassa 5 on tutkittu kalkkikiven kulumista fraktiona 12,7 - 19,1 mm. Kuluminen järjestykseksi saatiin seuraava (lievästi vähiten kuluttava liuos mainittu ensin): tislattu vesi < kaliumasetaatti < natriumformiaatti < urea. Kuvassa 6, kvartsiitin osalta, vaikutusjärjestys oli sama eri jäänsulatuskemikaalien kesken. Kanadassa tehtyjen erittäin pitkäkestoisten jäätymis-/sulamis - kulutuskokeiden perusteella, ref. /10/ tutkijat arvioivat kaliumasetaatin lievästi vähemmän kiviainesta kuluttavaksi kuin formiaatti. Seuraava järjestys saatiin kuitenkin kalkkikiven fraktiolle 4,75 - 9,5 mm (vähiten kulumista aiheuttava jäänsulatuskemikaali mainittu ensin): tislattu vesi < natriumformiaatti < kaliumasetaatti < urea, eli formiaatti olisi lievästi vähemmän kuluttava. Viitteessä /10/ esitetyissä jäätymis-sulatustesteissä saatiin urean vaikutus kulumiseen aina vähän suuremmaksi kuin muilla jäänsulatuskemikaaleilla. Kriittisen konsentraatiovaikutuksen perusteella formiaatin vaikutus keskikoon kvartsiittiin oli lievästi suurempi kuin kalkkikiveen.

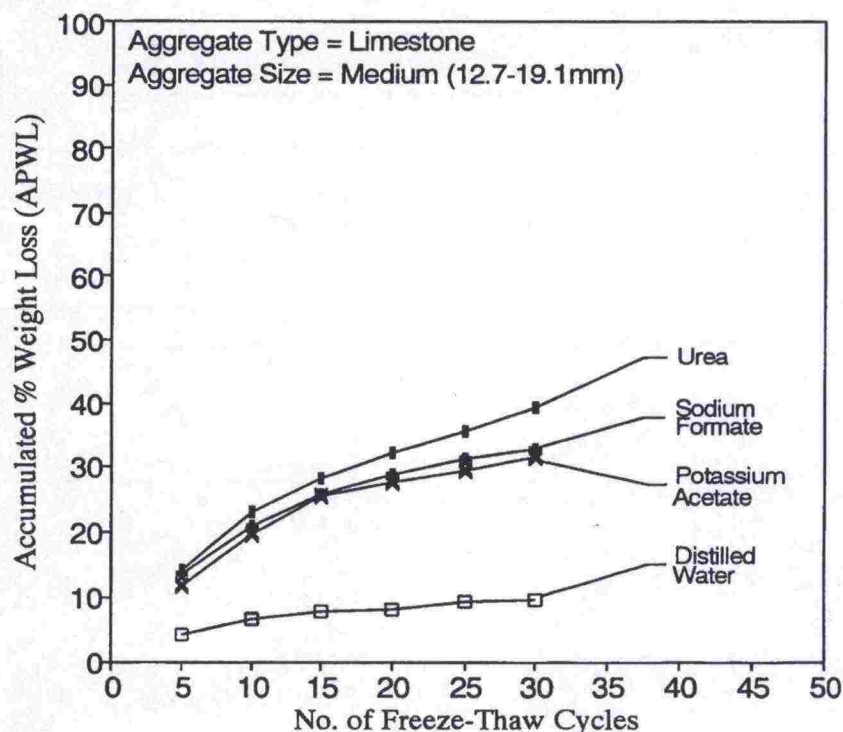


Fig. 17 : Comparison of the Relative Destructive Effects of the Critical Concentrations of Deicers on Medium Size Limestone Aggregates

Kuva 5. Kriittisten jäänsulatusliuoskonsentraatioiden vaikutus keskikoon kalkkikivi-fraktion kulumiseen. /10/.

Referenssin /10/ tulosten perusteella ei määriteltä tarkkaan sitä, mikä olisi jäänsulatuskemikaalin ja kiviainespinnan keskinäinen reaktio kulumisessa. Arvioita reaktioista esitettiin ja ne olivat seuraavat:

- Kulumista eivät aiheuta niinkään kemialliset reaktiot, vaan kiviainesten pintojen mikrorakenne-erot.
- Kiviainespintojen jäätyminen aikaansaa kuormituseroja, eng. "induced stresses" -eroja kiviainesten pinnoilla.

- Vedessä kiviainespintojen APWL-arvot 50 syklin jälkeen olivat noin 10 %, kun ne jäänsulatuskemikaaleilla olivat 20 - 90 %. Jäänsulatuskemikaalit aikaansaivat kulumista tällöin enemmän kuin vesi. Kulumisen määrä riippui tällöin myös sulatuskemikaalin konsentraatiosta.
- Ureakäsittely aiheutti kivipintojen kulumiseen suurimman vaikutuksen.
- Formiaatin ja asetaatin aiheuttamat kulumisvaikutukset olivat suhteellisesti verrattavissa samansuuruisiksi useimmissa tapauksissa.

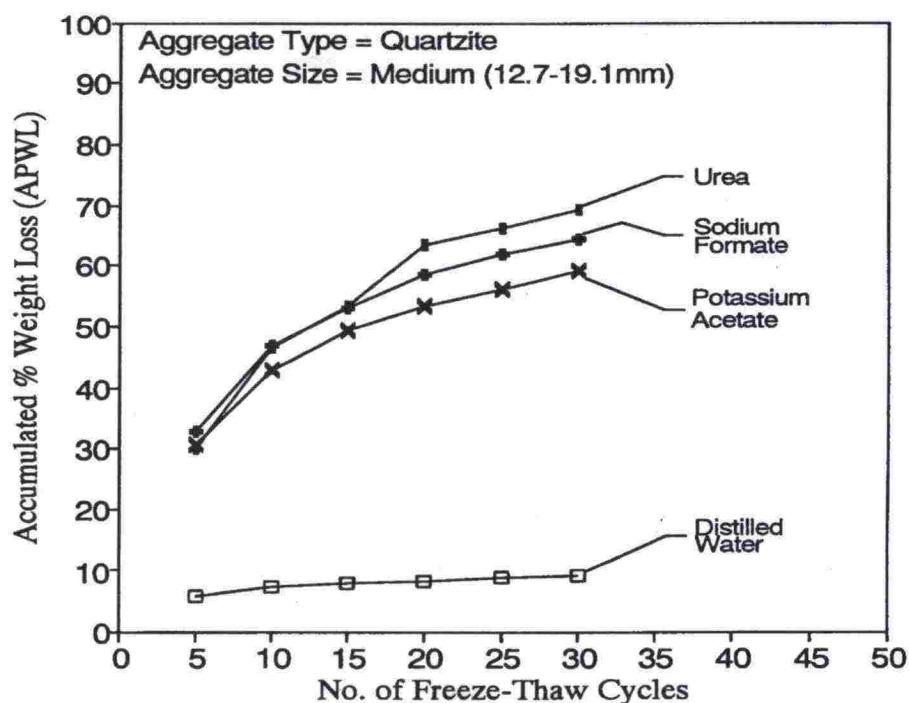


Fig. 20 : Comparison of the Relative Destructive Effects of the Critical Concentrations of Delcers on Medium Size Quartzite Aggregates

Kuva 6. Kriittisten jäänsulatuskemikaalikonsentraatioiden vaikutus keskikoon kvartsiitifraktioon /10/.

- Mikäli jäänsulatuskemikaalin ja kiviainespinnan välillä on kemiallista vuorovaikutusta, lisääntyy tämä hienommalla kivifraktiolla, jolloin kiviaineksen pinnan kasvava ominaispinta-ala selittäisi tätä vuorovaikutuksen kasvua. Suurempi vaikutus emäksisellä jäänsulatuskemikaalilla on myös happamaan kiveen.
- Tulokset osoittivat, että maksimikulumisen kivipintaan aiheuttavat kriittiset jäänsulatusliuosten konsentraatiot olivat yllättävän pieniä ja liuoksittain seuraavat: urea 1 %, natriumformiaatti 1 - 2 % ja asetaatti samoin 1 - 2 %.
- APWL-arvojen perusteella jäänsulatuskemikaalien vaikutus karkeampaan kiveen oli pienempi kuin hienompaan. Tosin tutkimuksessa tutkittu hienoin fraktio oli silti jo melko karkea, 4.75 - 9,5 mm, eli varsinaisia hienoja täytejauheita ei tutkittu.

Mikäli uusia jäänsulatuskemikaaleja rinnastetaan tiepäällysteiden tavalliseen natriumkloridikäyttöön, tutkimuksessa /10/ esitetään lopuksi tutkimusmahdollisuutta niin, että bitumoidut kiviainesrakeet testattaisiin jatkossa jäädytys-sulatuskokeilla. Vertailu osoittaisi tällöin paremmin yhtymäkohdat tiekäytön varsinaisiin tartuntaongelmiin. Yhtä tärkeänä pidettiin päällysteiden kulumisen tutkimista.

2.2.2 Formiaatin vaikutus päällysteen mekaanisiin ominaisuuksiin

Asfaltin mekaanisissa kestävyyskokeissa sovellettiin /11/ myös jäätymis-sulamiskoetta. Tutkimus tehtiin Ottawan lentokentän päällysteprojektin poranäytteistä. Päällysteen laadusta ei ollut viitteessä /11/ tarkkaa selostusta. Päällyste oli näytekuvan perusteella arviolta tehty asfalttimassasta, jonka maksimiraekoko oli noin 12 mm. Sideainepitoisuudeksi päällysteessä ilmoitettiin 6,0 p-%. Bitumina oli tunkeumaluokan B120/150 bitumi. Tutkittu asfalttibetoni oli täten raekooltaan hienompaa massaa kuin mitä meillä on lentokentillä yleensä käytetty. Mekaanisten ominaisuuksien testimenettelyt olivat seuraavat. Osa poranäytteistä säilytettiin kuivina ja osaan imeytettiin 2-prosenttiset jäänsulatuskemikaalit 24 h aikana. Kuivatuksen ja punnituksen jälkeen näytteet jäädytettiin -35 °C lämpötilaan 24 h ajaksi uudelleen imeytettäviksi. Näytteet sulatettiin 24 h aikana +30 °C lämpötilassa. Näytteiden kulumisen painohäviötä seurattiin punniten näytteet joka viidennen syklin jälkeen. Lopulta näytteet kuivattiin huoneenlämmössä. Osa näytteistä valittiin tämän jälkeen edelleen jatkokäsiteltäväksi 50 sykliin asti. Näistä näytteistä määritettiin mekaanisina ominaisuuksina epäsuora halkaisuvetolujuus, ks. kuvat 7-8 sekä laskettiin elastisuusmoduuli tangettimentelmällä, ks. kuva 9.

2.2.3 Halkaisuvetolujuudet

Halkaisuvetolujuuskoe on kuvassa 7 ja keskiarvotulokset kuvassa 8.

Halkaisuvetolujuuden laskentakaava on seuraava.

$$2P/\pi dh, \text{ jossa} \quad (1)$$

- P on murtovoima,
- d on näytteen halkaisija,
- h korkeus

Halkaisujäykkyuden (VTT:n tulokset myöhemmin kohta 3) kaava on seuraava.

$$P/\epsilon h, \text{ jossa} \quad (2)$$

- P on murtovoima,
- ϵ murtovoimaa vastaava siirtymä

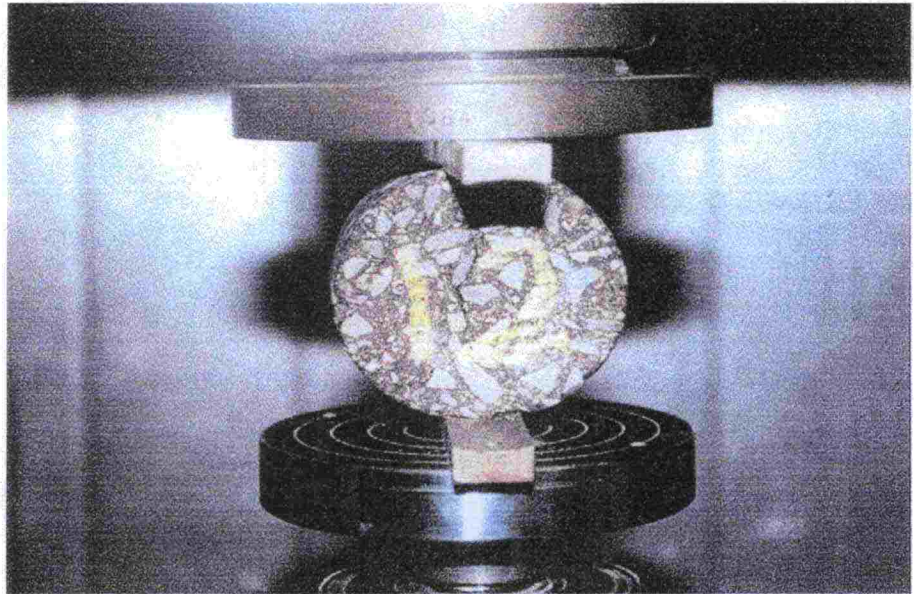


Figure 5: Failure of core sample under indirect tensile stress.

Kuva 7. Halkaisuvetolujuuskokeen periaate. Porakiekko halkaistaan pystysuunnassa ja maksimimurtokuorma mitataan /11/.

Epäsuora halkaisuvetolujuus (ITS) lasketaan tietyllä kaavalla jakaen maksimimurtovoimasta saatava arvo poranäytteen dimensioista saatavalla arvolla, ks. kaavat 1 - 2.

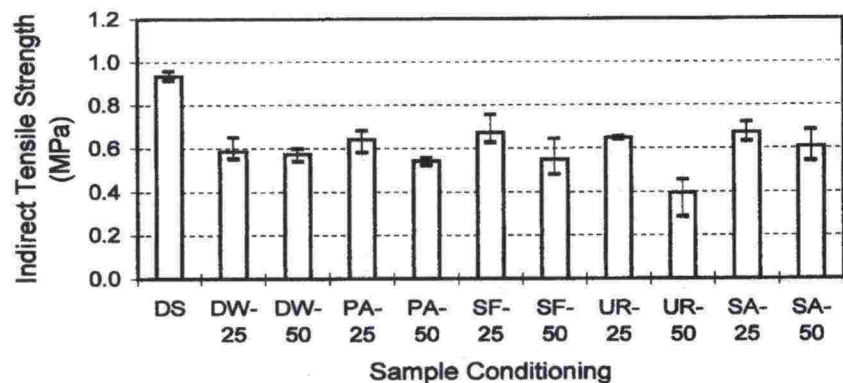


Figure 18: Summary of average, minimum, and maximum indirect tensile strength.

Kuva 8. Eri jäänsulatuskemikaalien vaikutus halkaisuvetolujuuksiin sekä 25 että 50 jäätymis-sulamissyklin jälkeen hajontoineen. DS=kuiva, DW=vesi, PA=kaliumasettaatti, SF=natriumformiaatti, UR=urea, SA=natriumasettaatti /11/.

Kuvasta 8 nähdään, että mekaaniselta hvl-käyttäytymiseltään selvästi huonommaksi osoittautui 50 syklin jälkeen ureassa (UR) käsitelty asfaltti. Natriumformiaatin (SF) ja kaliumasettaatin (PA) välille ei saatu merkitsevää eroa. Tislattun veden (DW) tulokset olivat samaa luokkaa muiden jäänsulatuskemi-

kaalien paitsi urean kanssa. Urealla tulos 50 syklin jälkeen oli muita jäänsulatuskemikaaleja ja myös vettä selvästi huonompi.

2.2.4 Elastisuusmoduulit

Elastisuusmoduuli laskettiin tangenttielastisuusmoduulina, eng. "tangent modulus". Näytteen kuormitus-venymä -käyrään asetetaan tangentti, jonka maksimikohdasta luetaan kuormitusvoima. Moduuliarvossa kuormitusvoima jaetaan vastaavalla muodonmuutoksella eli venymällä. Keskiarvotulokset hajontoineen on esitetty kuvassa 9.

Ureassa käsitellyn asfaltin elastisuus laski selvästi. Muilla jäänsulatuskemikaaleilla moduulit olivat lähinnä samaa tasoa, mutta esim. natriumasetaatilla (SA) hajonta oli suuri.

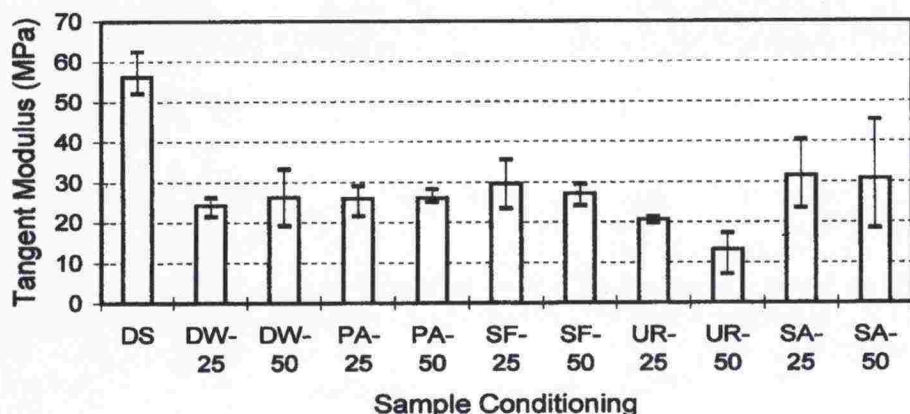


Figure 19: Summary of average, minimum, and maximum tangent modulus.

Kuva 9. Moduulit eri jäänsulatuskemikaaleissa tehdyn 25 ja 50 jäätymis-sulamis-syklin jälkeen. Päällysteet kuten kuva 8 /11/.

2.2.5 SWIFT 2000 -konferenssin esitelmien sisältö ja päätelmät

Seuraavassa on käyty läpi Kanadassa v. 2000 pidetyn konferenssin esitelmistä niiltä osin kuin niiden päätelmät ovat hyödynnettävissä tiekäytössä.

John Emeryn esitelmässä /13/ käytiin läpi tulostulosten perusteella jäänsulatuskemikaalien vaikutukset päällysteen ominaisuuksiin. John Emery oli tutkinut lentokenttäasfaltteja. Tutkimuksissa verrattiin ureakemikaalin vaikutusta uusien formiaattien ja asetaattien vaikutuksiin. Visuaalisesti ja käytännön havaintojen perusteella urean oli epäilty vaurioittavan lentokenttäpäällysteitä. Diakuvissa näkyi päällystepinnassa halkeilua ja saumaukset olivat pettäneet. Yhden dian perusteella lentokentästä oli kaivettu esille täysin särkyneitä asfalttipäällystenäytteitä. Diojen alkuperää tulisi tiedustella suoraan tutkimuksen tekijältä /13/, jolloin vasta niiden taustoista saisi tämän tarkempia tietoja.

Esitelmädioissa ei mainittu tarkkaan Emeryn /13/ tutkimaa asfalttityyppiä. Näytteiden käsittelydiakuvan perusteella massa näytti kuitenkin arviolta hienorakeiselta asfaltilta vastaten meillä asfalttia AB12. Tutkittujen asfalttien käsittelystä mainittiin esitelmässä /13/ seuraavaa. Osa Emeryn tutkimista asfalttinäytteistä oli vanhennettuja, osassa näytteistä oli käytetty bitumissa kosteutta syrjäyttävää tartuketta ja osassa asfalttinäytteiden bitumiin ei ollut lisätty tartuketta. Kuumabitumitartuke on tavallisimmin ainakin Suomessa ollut tyyppiä polyamiini. Näiden tartukkeiden käyttötarkoituksena on kosteuden syrjäyttäminen märältä kiviainespinnalta. Tartukkeilla parannetaan täten bitumin tartuntaa kosteaan kiviainespintaan. Suomessa ei kuitenkaan tällä hetkellä lisätä tiepäällysteiden bitumiin kuumabitumitartukkeita.

Tutkitut jäänsulatuskemikaalit Emeryn /13/ kokeissa olivat seuraavat:

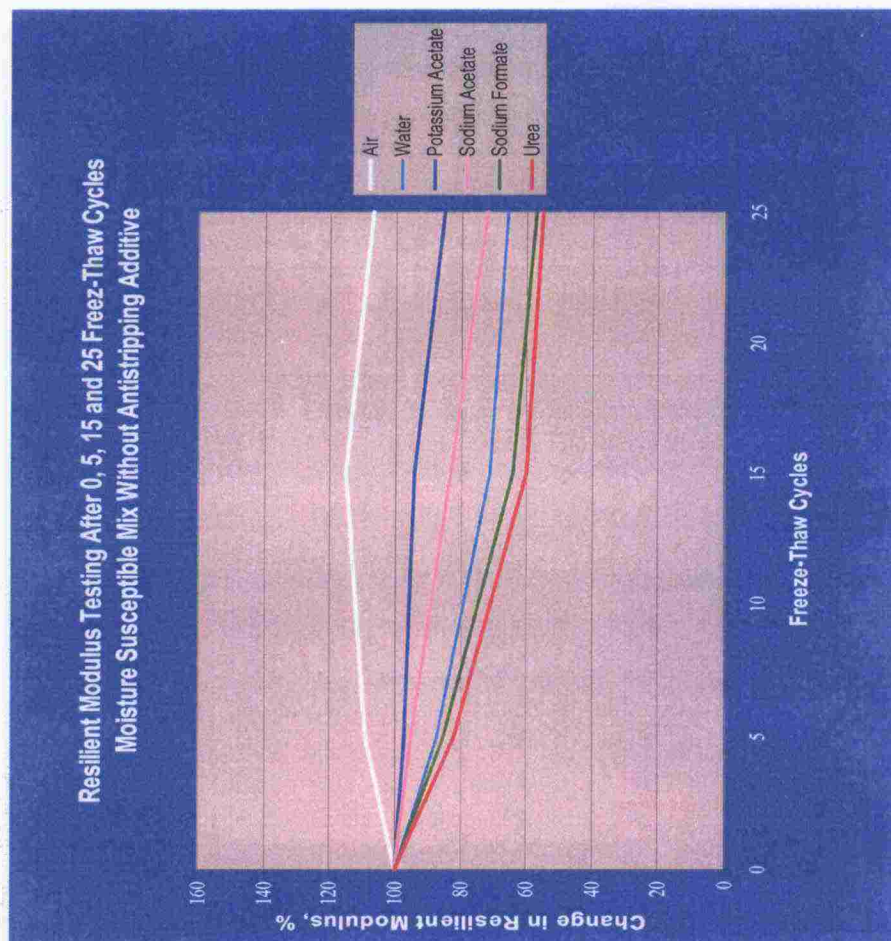
- *Kaliumasetaatti 50 % liuos, kauppalatu Clariant Safeway KA*
- *Natriumasetaatti 5 % liuos, Clariant Safeway SD*
- *Natriumformiaatti 5 % liuos, Clariant Safeway SF*
- *Urea 5 % liuos*

Koska käytössä ei ollut testiä tutkia jäänsulatuskemikaalien vaikutuksia tartuntahäiriöihin, kehitettiin tähän Emeryn mukaan modifioitu testi /13/. Testin vaiheet olivat seuraavat. Testissä tutkittiin asfalttinäytteitä, joiden halkaisija oli 100 mm, korkeus 25 mm ja tyhjätila 8 %. Näytteitä kyllästettiin 70 - 80 % jäänsulatuskemikaalilla 500 mmHg paineessa 5 min ajan. Näytteisiin imeytettiin tämän jälkeen jäänsulatuskemikaalia lämpötilassa +25°C niin, että imeytysaika oli 30 min. Näytteet pakastettiin tämän jälkeen -18°C lämpötilaan niin, että pakkassyklin kesto oli 16 h. Sykliä yhteismäärä oli 25. Syklityksen jälkeen näytteistä määritettiin seuraavat asfaltin ominaisuudet: jäykkyysmoduulin, eng. "resilient modulus" -muutos jokaisen 5 syklin jälkeen, viruma syklitysten jälkeen, vetolujuus syklitysten jälkeen ja asfalttipäällysteen massan muutos (punnitusarvo) jokaisen 5 syklin jälkeen.

Koska Suomessa ei käytetä kuumabitumitartuketta parantamaan asfaltin kosteuden kestoa, on kuvaan 10 skannattu esitelmän /13/ tuloksista sellaiset, joissa asfaltti on tehty ilman tartuketta.

Kuvasta 10 nähdään, että pelkän veden vaikutusta enemmän asfalttipäällysteen jäykkyysmoduulin muutokseen vaikuttivat urea ja natriumformiaatti lähes samassa tasossa. Dioissa ei kuitenkaan kerrota mitään tuloseröjen välisestä tilastollisesta merkitsevyydestä, jota tulisi tiedustella tarkemman selityksen saamiseksi tutkijoilta /13/ suoraan.

Tutkimuslaboratorio /13/ tutki päällysteistä lisäksi deformaation kestävyyttä. Tulokset ovat kuvassa 11. Testit oli tehty päällysteanalysaattorilla, jonka luonne ei paljastunut dioista. Kyseessä lienee ollut joko dynaaminen virumistesti tai pyöräurituskoee. Koelämpötilaa ei myöskään mainita viitteessä /13/, mutta se lienee suurempi kuin pelkkä huoneenlämpötila. Millimetreissä esitettävä deformaatioarvo oli kuvassa 11 kuormitusykyllillä 8000 korkeimmillaan yli 10 mm.



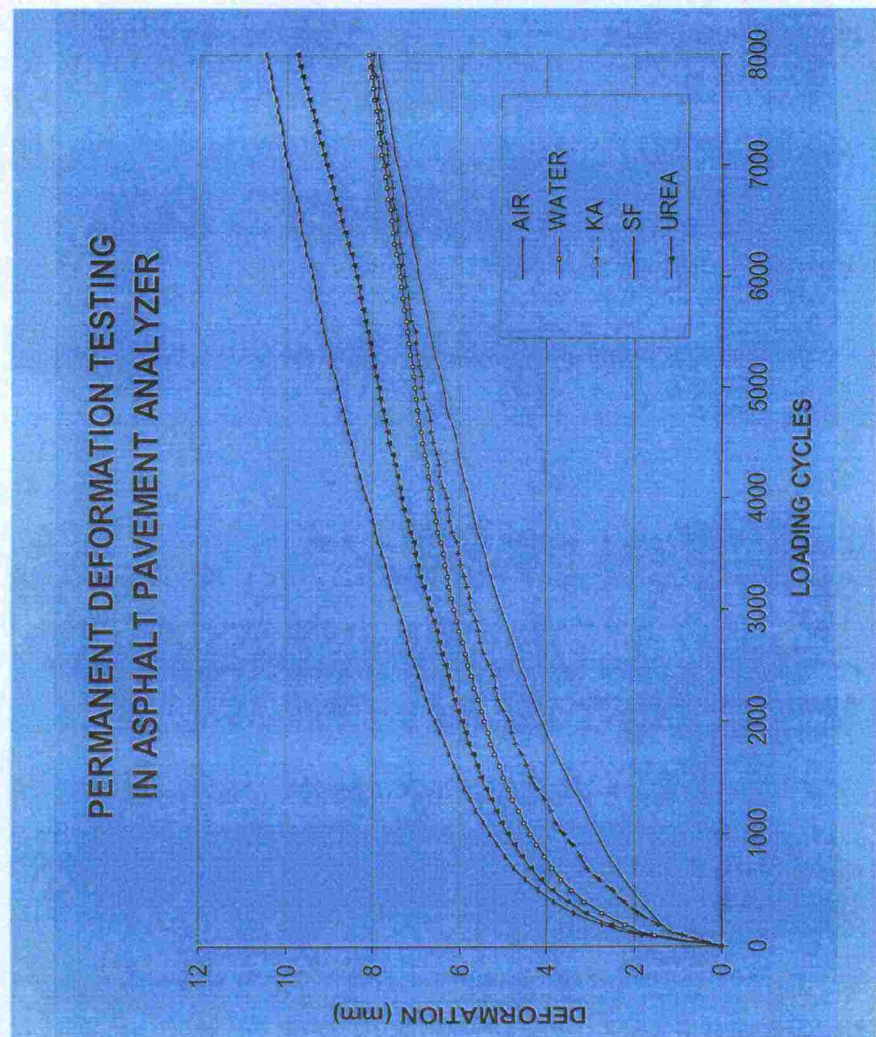
Kuva 10. Tulokset pakkas-sula -sykliä vaikutuksesta asfaltin jäykkyysmoduulin muutokseen eri jäänsulatuskemikaaleissa /13/.

Kuvan 11 tuloksista nähdään myös, että natriumformiaatilla (SF) käsitelty pinta oli deformatunut testissä lievästi eniten. Kaliumasetaatilla (KA) deformaatio oli keskimäärin vain noin 2 mm pienempi. Voi olla täten, että tällä erolla ei ole käytännössä vielä mitään merkitystä. Tulosten tilastollista arviota viitteessä /13/ ei kuitenkaan esitetty.

Jäänsulatuskemikaalien vaikutusta päällysteen ominaisuuksiin on eri tutkimuksissa selvitetty jäätymis-sulatuskokein. Koska eri tutkijat kuten Emery /13/ ovat modifioineet näitä testejä ja esim. täysin standardoitua EN-menettelyä ei toistaiseksi ole esitetty, on eri testien välisten tulosten vertailu hankalaa. Kirjallisuudesta saakin sen kuvan, että tuloksia tulisi verrata vain saman tutkimuksen sisällä. Samoin testejä tulisi tehdä paikallisina asfaltein ja paikallisista materiaaleista.

Jäänsulatuskemikaalit vaikuttivat tutkimuksen /11/ testeissä bitumiin tietyllä tavalla. Jäätymis-sulatamissyklejä sisältäneissä testeissä varsinaisen sykli-tyksen tulkittiin pehmentävän bitumia, kun taas jäänsulatuskemikaalien tulkittiin kovettavan bitumia. Tämä tulkinta voi olla oikea, koska VTT:n kokeissa /8/ pehmeällä bitumilla pintaannoussut bitumi muodosti kovan bitumikalvon. Tutkimuksen /11/ perusteella sykliä laski päällysteen mekaanista kestä- vyyttä eniten. Ks. lievästi suurin moduulimuutos urealla, kuva 10.

Tutkimuksessa /11/ todettiin myös, että bitumin ja jäänsulatuskemikaalien soveltuvuutta tulisi tutkia myös $+40^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa, koska varsinaista reagoitua voi tapahtua korkeissa lämpötiloissa enemmän kuin lähellä jäätymispistettä olevissa lämpötiloissa. Jäänsulatuskemikaalia voi kulkeutua talvella halkeamista sisälle päällysteen rakenteeseen ja sieltä jäänsulatuskemikaali kesällä lämpötilan noustessa haihtuu pois. Viitteessä /11/ arvioidaan lopuksi, että tämä reaktio yhdistettynä auringon UV-säteilyyn saattaa aiheuttaa asfalttipäällysteen ja bitumin venyvyyden heikentymistä. Jäänsulatuskemikaalien vaikutuksesta asfaltin kestävyys korkeammassa lämpötilassa on tehty liian vähän tutkimusta.



Kuva 11. Eri jäänsulatuskemikaalien vaikutus asfalttipäällysteen pysyvän deformaation suuruuteen /13/.

SWIFT 2000 - konferenssin päätelmät on esitetty yhteenvedon muodossa referensseissä /12 - 14/. Seuraavaksi näiden yhteenvedojen sisältö on esitetty tutkijoittain.

Tutkija A.O. El Halim /12/ toimii professorina Carletonin yliopistossa Ottawassa. Hänen tutkimusryhmänsä tutki neljän jäänsulatuskemikaalin: natri-

umformiaatti, natriumasetaatti, kaliumasetaatti ja urea vaikutuksia asfalttiin jäätymis-sulattamiskokein. Yhteensä he kuluttivat asfalttinäytteitä jäänsulatuskemikaaleissa 90 syklin ajan. Jo 15 syklin jälkeen oli näytteistä eniten kulunut ureassa käsitelty asfalttinäyte. Kuluminen määritettiin punnitsemalla. Tulosten perusteella etsittiin syytä vaurioon, jossa asfaltin kantava kerros oli hajonnut. Syyksi esitettiin ureakemikaalin kuluttava vaikutus. Kaliumasetaattilla ei todettu olevan vastaavaa vaikutusta. Yhteenvedosta /12/ ei selvinnyt kuitenkaan lähemmin se, mihin vaurioon tutkimuksessa viitattiin.

Natriumformiaatit ja natriumasetaatit aiheuttivat El Halimin syklityskokeiden /12/ perusteella lievästi enemmän kulumista kuin kaliumasetaatti. Testatuista materiaaleista tuotteet Clearway 1, 2 ja 3 olivat koostumukseltaan kaliumasetaattia. El Halim /12/ suositti näiden kemikaalien käyttöä, koska hän oli tutkimuksissaan havainnut, että näillä ei esiintynyt merkittävää asfaltin pintakulumista vielä 90 syklinkään jälkeen.

John Emery /13/ oli tutkinut kolmen jäänsulatuskemikaalin: natriumformiaatti, natriumasetaatti ja kaliumasetaatti vaikutusta asfalttiin. SWIFT-esitelmän sisällön hän tiivisti seuraavasti. Havainnot hän oli tehnyt lentokenttien liikennöityjen alueiden kivien irtoilun perusteella. Jäänsulatuskemikaaleilla ei ollut vaikutusta, jos asfalttipäällysteiden pinnat olivat hyviä eli tiiviitä. Kun pinnat taas olivat huonoja eli tiivistymättömiä, vaikutuksia esiintyi. Saumausaineiden hän havaitsi myös purkautuvan ja kestävän jäänsulatuskemikaaleja eri tavoin.

Kuvan 10 perusteella John Emery tulkitsi asfaltin jäykkyysmoduulien muuttuvan eniten viiden ensimmäisen jäätymis-sulamissyklin jälkeen. Verrattaessa tuloksia 15 syklityskerran jälkeen, eivät erot olleet kovin merkittäviä. Urella jäykkyys oli kuitenkin laskenut eniten. Tartukkeen lisäys paransi asfaltin vedenkestävyyttä. Pienimmän muutoksen asfalttinäytteiden jäykkyysmoduuliin aiheutti kaliumasetaatti. Hyvän asfalttipäällysteen pintaan jäänsulatuskemikaalit eivät Emeryn mukaan vaikuta läheskään yhtä paljon. Asfaltin hyvällä laadulla John Emery tarkoitti esitelmässään lähinnä sitä, että asfaltti on tiivistä eikä jo alkuaan päällystämässä osoittaudu vaurioalttiiksi.

Yhteenvedossa John Lim /14/ tiivisti SWIFT 2000 -konferenssin annin jäänestoaineiden käytön nykytilanteesta Kanadan lentokentillä. Tulevaisuudessa olemme vastatusten tilanteessa, jossa tulisi tehdä ratkaisuja sopivan jäänsulatusaineen tuottamisesta ja valinnasta. Hän arvioi, että tuleva jäänsulatuskemikaali lentokentillä saattaisi olla esim. kaliumasetaattia tai seos kaliumasetaatista ja glykolista. Käytettävän jäänsulatuskemikaalin tulisi olla laatuvaikutuksiltaan turvallista käyttää kunnossapidossa. Tuotteen ympäristökäytön vaikutusten tulisi samoin olla riittävän pieniä.

2.3 Kyselyyn eri maista saadut vastaukset

Tutkimuksen yhteydessä VTT teki kyselyn mielipiteistä formiaattien vaikutuksesta asfalttipäällysteiden laatuun. Tiedustelu lähetettiin sähköpostilla pohjoismaisille ja muutamille muille alan keskeisille vaikuttajille. Tiedusteluun saatiin vain lähinnä kommentoivia vastauksia sähköpostilla. Vastaukset olivat selvästi oletusperustaisia eikä vastaajilla ollut käytettävissä paljonkaan kokeellisia tuloksia. Samoin vahvistui käsitys, jonka perusteella kokemukset

formiaateista perustuvat tällä hetkellä vain lentokenttäkäyttöön. Koska päällyste-erot varsinkin Suomessa lentokenttien ja tiepäällysteiden kesken ovat hyvin vähäiset, pystytään havaintoja suuntaa-antavasti soveltamaan kuitenkin myös tiekäyttöön.

Vastaukset saatiin seuraavilta tahoilta:

VTI Swedish National Road and Transport Research Institute Ruotsi, KTH Kungliga Tekniska Högskolan Ruotsi, Svenska Luftfartsverket Arlanda Airport Ruotsi, Oslo Airport Norja, Munich Airport Airport Operations Saksa ja Transport Canada Materials and Airfield Maintenance Kanada.

Vastaukset olivat vapaasti kääntäen seuraavat:

Vastaus 1 (Ruotsi)

"Formiaattien käytön lisääminen on vielä ennen aikaista. Formiaatteja ei vielä voida hyväksyä ilman lisätutkimuksia."

Vastaus 2 (Ruotsi)

"Formiaateilla ja asetaateilla on vaikutuksia bitumiin ja asfalttipäällysteeseen. Milloin, missä ja minkälaisissa olosuhteissa vaikutuksia esiintyy, on kompleksinen kysymys, jota ei täysin ymmärretä ja joka on parhaillaan käsittelyssä tutkimuksin ja keskusteluin useissa eurooppalaisissa projekteissa. Tietojeni perusteella Ruotsissa ei tulla ainakaan heti käyttämään formiaatteja tai asetaatteja teiden jäänsulatuksessa."

Vastaus 3 (Ruotsi)

"Olemme varovaisia käyttämään formiaattia Ruotsin lentokenttien liukkaudentorjunnassa. Tämä johtuu osittain testeistä, joissa on tutkittu formiaatin vaikutusta sekä asfalttikoeleikkauksilla että bitumilla. Odotamme lisävastauksia korroosio- ja kysymyksiin." Lopuksi vastaaja viittaa vielä tämän tutkimuksen referenssissä /6/ käytettyjen menetelmien (rengas-kuula pehmenemispiste ja vetojännitystartunta) tuloksiin formiaatin vaikutuksesta bitumiin ja asfalttiin.

Vastaus 4 (Norja)

"Oslo'n lentokentällä teemme parhaillaan arviointia bitumisten päällysteiden kunnosta jäänsulatusolosuhteissa. Visuaaliset havaintomme ovat johtaneet meidät alustavaan päätelmään, että sekä monopropyleeniglykoleilla että formiaatilla on vaikutusta päällysteen kuntoon."

Vastaus 5 (Saksa)

"Kiitos tiedustelusta Münchenin kentälle. Ympäri maailmaa keskustellaan nyt paljon formiaateista. Viimeiset kommentit tulivat Boeing'ltä. Haluaisitte tietää asfalttivaikutuksista. Luullaksemme paras asiantuntemus löytyy Norjasta."

Vastaus 6 (Kanada)

"Kanadassa nykypäiviin asti käytetyin lentokenttien jäänestokemikaali on ollut urea. Johtuen urean ympäristövaikutuksista on tätä korvaamaan haettu uutta jäänestokemikaalia. Uusina jäänsulatuskemikaaleina ovat kokeiluissa olleet kaliumasetaatti ja natriumformiaatti. Käynnistimme 1990-luvulla tutkimuksia jäänestokemikaalien vaikutusten vertaamiseksi myös tiekäytössä olevaan natriumkloridiin. Tutkimuksista on julkaistu viiteraportteja kuten /10 - 11/, jotka olemme toimittaneet Suomen Ilmailulaitokselle."

3 LABORATORIOKOKKEET TIEPÄÄLLYSTEILLÄ

3.1 Raaka-aineet, päällystetyypit ja testausmenettelyt

Laboratorio-osioon valittiin tutkittaviksi kaksi yleistä tiepäällystetyyppiä AB16 ja SMA 16. Kiviaineksen maksimiraekoko on asfaltissa tällöin 16 mm. Lisäksi AB16-päällysteessä käytettiin kahta eri tiebitumikovuutta; B70/100 ja B160/220. Normaalilla tiebitumilla B70/100 tiepäällyste AB16 tehtiin lisäksi happamasta Teiskon ja emäksisestä Hietavaaran kiviaineksesta. Teiskon kiviaines on granodioriittiä ja Hietavaaran metadiabaasia. Jäänsulatuskemi-kaaleista tutkittiin vain kaliumformiaatin (50 % vesiliuos) vaikutusta tieasfaltin kestävyteen ja vertailu tehtiin vesivarastoituihin näytteisiin nähden. Kaliumformiaatin toimitti tutkimukseen kemikaalin valmistaja suoraan. Formiaattiliuos oli merkitty koodilla Meltium 3H1/Y1,8/200/01 FIN/TTK-117. Näytteiden varastointiajaksi sovittiin 2 kk. Näytteet porattiin ja sahattiin laboratorioissa valmistetuista ja tiivistetyistä tieasfalttilaatoista. Lisäksi näytteisiin oli säädetty tyhjätilaksi 4 - 5 % eli päällysteet olivat harvahkoja. Laboratorio-osion koematriisi on taulukossa 4.

Taulukko 4. Laboratorio-osion päällystetyypit ja testit.

Päällystetyyppi	Tartuntalujuuden säilyminen, hvl ja hvj ³	Vaikutus kulumiskestävyteen, Prall-koe ⁴
(1) AB16/B70/100 ¹	X	X
(2) AB16/B70/100 ²	X	X
(3) AB16/B160/220 ¹	X	X
(4) SMA16/B70/100 ¹	X	X

Huom: ¹Hapan Teisko, ²Emäksinen Hietavaara, ³Testaus hvl-testillä, MTS-laite, ⁴Testaus Prall-kulumistestillä.

SMA-massaan lisättiin irtokuitua (Arbocel-laatu), 0, 4 %. Käytetyt bitumit B70/100 ja B160/220 olivat merkinnältään laatua Fortum, heinäkuu 2001. Päällysteiden valmistustiedot on esitetty liitteessä 1. Tämän perusteella tutkitut päällysteet olivat seuraavat:

- AB16(B70/100) metadiabaasi Hietavaara, bitumipitoisuus 4,5 %, KF¹ 3,0 %
 - AB16(B70/100) granodioriitti Teisko, bitumipitoisuus 5,1 %, KF 5,0 %
 - AB16(B160/220) granodioriitti Teisko, bitumipitoisuus 5,0 %, KF 5,0 %
 - SMA16(B70/100) granodioriitti Teisko, bitumipitoisuus 6,2 %, irtokuitu 0,4 %, KF 10 %
- ¹KF=kalkkikivitäytejauhe

Tiedot päällysteittäin kaliumformiaattiliuosvarastointiin valituista poranäytteiden tyhjätiloista ovat liitteessä 2. Liuosaltaiisiin pyrittiin saamaan tyhjätiloiltaan mahdollisimman verrannolliset näytteet. Näytteiden tyhjätilatavoitteessa onnistuttiin melko hyvin. Liitteen 2 mukaan AB16-

näytteiden tyhjättila oli 3,6 - 4,6. Vähän tätä harvempana toteutuivat SMA16-näytteet, tyhjättilat 5,3 - 5,8 %. Näytteiden varastointimenettely kuivana ja liuosaltaissa laboratoriossa on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Asfalttinäytteiden varastointi laboratoriossa kaliumformiaattiliuoksessa ja kuivana.

Staatinen varastointiaika kaliumformiaattiliuoksessa näytteille oli 2 kk. Muuta tehostetumpaa jäänsulatuskemikaalin pumppausta näytteisiin kuten esim. vakuumi-imeytystä tai jäätymis-sulatussyklitystä ei testauksessa käytetty. Varastointitavan valinnan perusteluna oli lähinnä se, että kemikaalit yleensä vaikuttavat eniten sulana ja toisaalta, jos varastointitapaa olisi vaihdettu, olisi myös eri konsentraatioita ollut kokeiltava ja koesarjoista olisi tullut selvästi laajempia. Varastointi tapahtui huoneen lämmössä.

3.2 Formiaatin vaikutus tartuntalujuuden säilymiseen

Halkaisuvetokoejärjestely on VTT:ssa kuvassa 7 esitetyn kaltainen. Muutoksena oli, että VTT käytti puristuksiin VTT:n MTS-laitetta, jossa puristuskehikko on koteloitu. Puristus tapahtui niin, että sekä vesi- että formiaattivarastoidut näytteet termostoitettiin yli yön + 10 °C lämpötilassa ennen varsinaista puristusta. Kuivanäytteet termostoitettiin lämpöuunissa vastaavasti. Halkaisuvetolujuusarvot ovat taulukossa 5.

Hvl-testissä puristetut näytesarjat olivat melko pieniä, jolloin hajonnan merkitys on huomioitava etenkin SMA:n tuloksia tarkasteltaessa. SMA:ssa käytettiin eniten bitumia sideaineena. Tämä voi madaltaa jäykkyystasoa, mutta toisaalta kuitulisäys jonkin verran kasvattaa jäykkyyttä. SMA-näytteiden tyhjättila oli vähän suurempi kuin AB16-näytteiden keskimäärin, joten tämä vaikuttaa myös SMA:n jäykkyystasoon. Tulokset ovat melko samansuuntaisia kirjallisuuden perusteella, kun niitä verrataan kiviaineksen happamuuden osalta. Formiaatin vaikutus emäksisellä Hietavaaran kiviaineksella tehtyyn tieasfalttiin oli tällöin vähän pienempi ja halkaisuvetolujuus korkeampi. Ero tuloksissa oli nähtävissä AB16-

päällysteissä. Teiskon happamasta kivistä tehdyillä tieasfalteilla halkaisuvetolujuus oli vähän pienempi eli formiaatin vaikutus näin ollen vastaavasti vähän suurempi.

Taulukko 5. Halkaisuvetolujuudet (hvl) eri varastointiliuoksissa.

Päällystetyyppi	Halkaisuvetolujuus, kN/m ²		
	Kaliumformiaatti 50 % liuos, varastointiaika 2 kk	Vesi varastointi- aika 2 kk	Ilma varastoin- ti kuivana
AB 16 Teisko, B70/100	1880	1910	2309
AB 16 Hietavaara, B70/100	2138	1954	2403
AB 16 Teisko, B160/220	1437	1561	1897
SMA 16 Teisko, B70/100	1263 *	1335 *	1599

*) SMA-massojen näytteillä hajonta suuri. Näytteiden tyhjätilat, ks. liite 2.

Käytännön kannalta formiaatin voidaan arvioida alustavasti vaikuttavan vähemmän tieasfalttiin, koska tieasfaltin normaali täyteaines on emäksistä kalkkifillieriä. Tämä ei kuitenkaan sulje pois vaikutusmahdollisuutta kokonaan, koska peruspäällystekiviainekset meillä ovat yleensä happamia graniitteja, joihin taas lievää vaikutusta tuntuisi olevan. Nämä vaikutukset näkyvät päällysteiden tarttuvuusluvuista eri kiviaineksella, ks. taulukko 6.

Taulukkoon 6 on laskettu päällysteen tarttuvuusluvut kahdella tavalla, jotka ovat seuraavat:

- (1) halkaisuvetolujuusmuutos (hvl), % ilma-arvosta
- (2) halkaisuvetojäykkyysmuutos (hvj), % ilma-arvosta

Tavallisin tapa laskea tarttuvuusluku päällysteelle on tapa (1). Tälle tavalle on myös käytössä raja-arvo, jonka perusteella testistä saadun asfalttipäällysteen tarttuvuusluvun on oltava yli 80 %. Muussa tapauksessa katsotaan esim. veden tai jäänsulatuskemikaalin voivan vaikuttaa asfaltin "rakenteellista" tartuntaa heikentävään suuntaan. Laskentakaavojen erot hvl- ja hvj-tarttuvuuslukujen kesken esitettiin aikaisemmin kohdassa 2.2.2.1. Kaavat löytyvät myös hvl-testin menetelmäkuvauksesta no. PANK 4202 /15/.

Taulukko 6. Hvl:n ja Hvj:n muutokset (tarttuvuusluvut) vesi- ja kaliumformiaattisäilytyksessä.

Päällystetyyppi	Tarttuvuusluku = Hvl:n muutos (% ilma-arvosta)		Hvj:n muutos (% ilma-arvosta)	
	Kalium- formiaatti	Vesi	Kalium- formiaatti	Vesi
AB 16 Teisko, B70/100	82	83	70	76
AB 16 Hietavaara, B70/100	89	81	83	72
AB 16 Teisko, B160/220	76	82	61	71
SMA 16 Teisko, B70/100	79	84	63	79

Rakenteelliseen tartuntaan hvl-testissä vaikuttaa se, miten herkästi kemikaali kulkeutuu pinnan huokosista sisään päällysteeseen. Kanadalaiset tutkijat osoittivat, että voimakkain päällysteen hvl-arvoa laskeva vaikutus oli urealla. Muilla jäänsulatuskemikaaleilla tapahtui myös kulkeutumista. Kanadalaisten tulosten perusteella jäänsulatuskemikaali, jonka konsentraatio vedessä oli suuri, esim. 50-prosenttinen kaliumasetaatiliuos, kulkeutui vähemmän asfalttiin kuin 2-prosenttinen liuos. Taulukon 6 tulokset voivat lievine muutoksineen edustaa tällöin vain minimivaikutusta ja tässä mielessä mm. kulumisesta tarvittaisiin lisätuloksia.

Kanadalaiset tutkijat esittävät myös tärkeän arvion, jonka perusteella jäänsulatuskemikaalia ei saa talvella kulkeutua päällysteeseen, koska kesällä säiden lämmentyä haihtuva jäänsulatusliuos pyrkii pintaan ja voi vaikuttaa tartuntaan epäedullisesti. Päällyste kestää tällöin enemmän jäänsulatuskemikaaleja, jos se on laadullisesti paremmin suunniteltu.

Taulukon 6 perusteella saatiin lievästi heikentynyt tarttuvuusluku seuraaville päällysteille:

- AB16(B160/220) granodioriitti (tarttuvuusluku 76 %), tyhjätila (liite 2) 3,9 - 4,3 %
- SMA 16(B70/100) granodioriitti (tarttuvuusluku 79%), tyhjätila(liite 2) 5,3 - 5,8 %

Vaikka tartunta säilyy tulosten perusteella vielä melko hyvänä, tarttuvuusluvut eivät kuitenkaan vielä kaikilta osin täytä Asfalttinormien 80 % vähimmäisvaatimusta. Tarkkaa kuvaa tulokset eivät vielä anna tällöin esim. päällysteen tyhjätilavaatimuksesta. Ilmeistä on kuitenkin, että jos massan AB16 (B180/220) tyhjätila olisi arviolta enintään 3,0 til. % , niin päällysteen tarttuvuusluku myös mahdollisesti parantuisi. Hvj-arvoja on tarkasteltu taulukossa 7.

Taulukko 7. Halkaisuvetojäykkyydet ja muodonmuutokset.

Päälystetyyppi	Ilma		Vesi		Kaliumformiaatti	
	Muodonmuutos (ϵ) mm	Hvj MPa	Muodonmuutos (ϵ) mm	Hvj MPa	Muodonmuutos (ϵ) mm	Hvj MPa
AB 16 T B70/100	1,7	217 (23)	1,8	165 (7)	2,0	152 (12)
AB 16 H B70/100	1,7	229 (15)	1,9	165 (17)	1,8	189 (30)
AB 16 T B160/ 220	1,9	161 (13)	2,2	115 (21)	2,3	98 (21)
SMA 16 B70/100	1,9	133 (34)	2,0	105 (25)	2,4	84 (27)

Hvj-arvoista lasketulle tarttuvuusluvulle ei ole käytössä raja-arvoa. Kaliumformiaatti ja/tai esim. päällysteen tyhjätila voivat vaikuttaa SMA:n halkaisujäykkyyteen. Samojen massojen kuin edellä tarttuvuusluvut (61 ja 63 %) hvj-laskutavalla määrittäen olivat pienimmät. Koska taulukoiden 6 ja 7 perusteella bitumista B160/220 asfaltissa AB16 ei saatu ainakaan parasta mahdollista tarttuvuuslukua, voidaan vaikutuksen epäillä johtuvan liian pehmeästä bitumista. Kirjallisuushavainto tästä esitettiin kuvassa 1. Kovin pitkälle menevät johtopäätelmät suppeasta aineistosta ovat kuitenkin erittäin vaikeita.

3.3 Formiaatin vaikutus kulumiskestävyyteen

Kulumiskestävyyden testauksessa käytetty Prall-kulutuslaite on kuvassa 13. Prall- kulutuskokeiden näytteet porattiin laatoista, sahattiin 3 cm paksuisiksi ja kulutettiin. Prall-kokeen kulutusaika on 15 min ja kuluttaminen tapahtuu 11,50 mm teräskuulilla, joiden määrä on 40 kpl. Testaus tapahtui +5 °C lämpötilassa. Ennen kuluttamista näytteitä termostoititiin tässä lämpötilassa yli yön. Kuulat liikkuvat kulutuksessa ylös - alas -suunnassa 950 kertaa/min. Menetelmä on kuvattu myös EN-menetelmäluonnoksessa /16/.

Jäänsulatuskemikaalissa käsitellyistä asfalttipinnoista kulumistulokset olivat ensimmäisiä, koska kirjallisuudesta ei löytynyt aikaisempia kulutustuloksia. Tällöin on muistettava, että arvot ovat vasta melko suppea otos kulumisvaikutuksista, koska ne kattavat vain hyvin pienen osan mahdollisista olosuhdevaihteluista erityisesti näytteiden varastoinnin osalta. Samoin vain yhden liuoskonsentraation vaikutusta on vasta testattu.



Kuva 13. Prall-kulutuslaite /16/.

Prall-menetelmässä (kuva 13) asfalttiporanäyte asetetaan näytepöydällä olevaan kammioon, johon johdetaan edestakainen liike. Kuluttavana osana ovat näytteen pintaa ylös-alas kuormittavat teräskuulat. Prall-kulutusajoista saadut tulokset ovat taulukossa 8.

Taulukko 8. Prall-kokeiden kulumistulokset.

	Prall-kulumiskoe, cm ³		
	Kaliumformiaatti 50 % liuos varastointiaika 2 kk	Vesi varastointiaika 2 kk	Ilma varastointi kuivana
AB 16 Teisko, B70/100	46 (3)	59 (6)	41 (3)
AB 16 Hietavaara, B70/100	33 (2)	42 (5)	32 (2)
AB 16 Teisko, B160/200	44 (5)	56 (5)	42 (3)
SMA 16 Teisko, B70/100	37 (4)	47 (9)*	35 (3)

*) SMA-massoissa hajontaa

Kaliumformiaattiliuoksessa säilytettyjen asfalttinäytteiden kulumiskestävyys osoittautui pienemmäksi kuin vedessä säilytettyjen näytteiden. Tulos on erittäin tärkeä ja merkittävä. Tämän perusteella arvioituna 50-prosenttisen kaliumformiaatin käytöstä ei aiheutuisi kulumisen nopeutumista. Kulumistu-

lostien vähyyteen viitattiin jo edellä. Toisaalta kulumistuloksia oli melko vaikea myös selittää. Eräs selitys voisi löytyä jäänsulatuskemikaalin kulkeutumisesta. Vesi imeytyy kiviaineksen mikrohuokosiin asfaltin pinnalla ja asfaltti kuluu huomattavasti enemmän märkänä kuin kuivana. Tulos oli tältä osin odotettu. Melko konsentroidussa, 50-prosenttisessa jäänsulatuskemikaaliliuoksessa taas liuoksen pääsy kiviaineksen mikrohuokosiin pienentyy. Tätä osoittivat kirjallisuudessa kanadalaiset kulutuskokeet (kuvat 3 - 6) kiviaineksilla. Näissä jäänsulatuskemikaalin melko laimeat, 1 - 2 % konsentraatiot vedessä vasta aikaansaivat kriittisesti eniten vaikuttavan kulumisen. Tällöin, vaikka "akuutit" kulumistulokset mahdollisessa käyttökonsentraatiossa ovat myönteisiä, tulisi kulumisen testata myös esim. pienemmillä pitoisuuksilla kuten 2 %, 10 % jne. Tämä näkemys voidaan esittää, koska käytännössä jäänsulatuskemikaalia esiintyy sateiden johdosta tien pinnassa myös laimentuneena. Kulumisen testauksessa tulisi vaihdella myös jäänsulatuskemikaalin annostelutapaa ja kokeilla liuosupotuksen sijasta esim. käytännön ruiskutusta vastaavaa käsittelytapaa.

4 JOHTOPÄÄTELMÄT

4.1 Päätelemät kirjallisuudesta ja kyselytutkimuksesta

Kirjallisuuden perusteella formiaattien vaikutusta asfaltin laatuun on tutkittu lähinnä lentokenttäolosuhteissa. Tutkimukset ovat keskittyneet Ruotsiin ja Kanadaan. Suomessa aihetta tutkittiin ensi kerran vasta v. 2001 Oulun ja Rovaniemen lentokenttävaurioiden yhteydessä. Kirjallisuuden perusteella on tutkittu jonkin verran formiaattien vaikutusta bitumiin, kiviainekseen, asfaltin tartuntaan ja jäykkyyteen. Kulumisvaikutusta Suomen tieoloihin soveltuen tutkittiin ensi kertaa vasta tässä tutkimuksessa. Koska lentokenttä- ja tiepäällysteiden laadulliset erot ovat melko pienet, voidaan lentokenttäselvitysten tuloksia kuitenkin soveltaa hyvin myös tiepäällysteiden vaikutusten tarkasteluun.

Formiaatin vaikutuksen bitumiin määrää arviolta bitumin pehmeys. Muitakin vaikutustekijöitä kuten bitumin laatu, tiheyserot jne. löytyy ja kaikkia vaikutustekijöitä ei edes tunneta tai niitä ei ole vielä tutkittu. Formiaatin (jäänsulatuskemikaalin; myös asetaatit vaikuttavat tähän suuntaan) kulkeutumisessa ilmeisesti jäänsulatuskemikaalin korkea tiheys ja orgaaninen luonne vaikuttavat siihen, että bitumia voi erottua kalvoksi liuoksen pintaan. Tällöin etenkin liian pehmeä bitumi nousee jäänsulatuskemikaalin pintaan. Ilmiö voi periaatteessa lievästi heikentää myös tiivistetyssä asfalttipäällysteessä bitumin ja kiviaineksen tartuntaa, vaikka vaikutus puhtaassa bitumissa onkin suurempi kuin itse asfalttipäällysteessä. Tärkeää on myös, että formiaattia (jäänsulatuskemikaaleja) ei kulkeudu asfalttirakenteeseen talvella niin, että ne kesäkuumalla haihtuessaan pyrkisivät ulos asfaltin pintaan ja vaikuttaisivat mahdollisesti epäedullisesti asfaltin koostumukseen.

Kirjallisuus osoitti jäänsulatuskemikaaleista yleisesti urean vaikuttavan päällysteominaisuuksiin kuten kulumiseen jäätymsulatuskokeiden perusteella eniten. Koska tarjolla olevien uusien jäänsulatuskemikaalien vaikutus nykytulosten valossa asfaltin kestävyys on arviolta pienempi kuin urean vaikutus, voitaisiin periaatteessa uusia jäänsulatuskemikaaleja valita ainakin

teoriassa pienemmin odotettavissa olevin vaikutuksin asfalttipäällysteiden jäänsulatukseen. Koska asfaltin jäätymis-sulamiskestävyys oli kaliumasettaattia kokeiltaessa erittäin hyvä, ovat kanadalaiset tutkijat tämän perusteella esittäneet mm., että kaliumasettaatti olisi hyvä ureaa korvaava jäänsulatuskemikaali.

Kiviaineksiin uudet jäänsulatuskemikaalit vaikuttivat kanadalaisissa tutkimuksissa eniten yleensä, jos kiviaines oli hapanta. Eniten kiviainesta kulutti laimea 1-2 %:nen jäänsulatuskemikaaliliuos. Vastaavia kulumiskokeita täytyisi tehdä myös suomalaisilla asfalttikiviaineksilla.

Kyselytutkimuksessa formiaattien laajempaan käyttöönnottoon tieasfalteilla liittyi Pohjoismaissa etenkin vielä selvää epävarmuutta. Tutkimuksia oli meillä ja tuloksia ei ollut selvästi vielä riittävästi käytettävissä lopullisen arvon tekemiseen. Perusarviona etenkin Ruotsissa oli edelleen, että formiaattia ei otettaisi tiekäyttöön ainakaan lähiaikoina. Tätä selitettiin mm. sillä, että formiaatin vaikutusta pehmeän bitumin pintaannousuun ei vielä osata tarkasti selittää eikä mekanismeja formiaattien mahdollisista käytännön vaikutuksista vielä tunneta riittävän tarkasti.

4.2 Päätelmät laboratoriokokeista

Kun tuloksia tarkastelee kirjallisuuden, ja uusien laboratoriotulosten perusteella voidaan tehdä päätelmiä siitä, että tulokset eivät varsinaisesti aseta mitään uusista vaihtoehtoisista jäänsulatuskemikaaleista ensisijaiseksi korvaavaksi kemikaaliksi. Vertailutuloksia suolan (NaCl) vaikutuksista asfaltin ominaisuuksiin ei ollut käytettävissä. Yleensä näitä epäorgaanisten suolojen vesiliuosten vaikutuksia asfaltin ominaisuuksiin on kuitenkin pidetty vähäisinä ja suolan käytön korvaamisessa painottuu suolaa ympäristöllisesti kelpoisemman jäänsulatuskemikaalin löytyminen. Ympäristön ja myös koostumusvaikutusten perusteella uudet kemikaalit vaikuttavat tällöin erittäin lupaavilta ureaa korvaaviksi aineiksi lentokentillä ja samalla suolaa korvaaviksi aineiksi tiepäällysteissä. Pohjaveden suojelusta tiesuoloja käytettäessä on lisäksi annettu erillisessä julkaisussa /17/ ohjeet, joita tulee noudattaa myös uusien kemikaaleja valittaessa.

Kirjallisuudessa verrattujen asetaattien ja formiaattien saatujen tulosten välinen ero oli niin pieni, että hajonta huomioiden nämä aineet periaatteessa ovat täysin samanarvoisia jäänsulatuskemikaaleja. Koska tieolosuhteissa painottuu eri tavoin varsinkin asfalttipäällysteen kulumiskestävyys, on tieoloissa jäänsulatuskemikaali valittava mm. painottaen kulumistuloksia. Suomessa käytetyillä asfalteilla ja kiviaineksilla kulumisajot eri menetelmin on tehty toistaiseksi selvästi vielä liian vähän. Kirjallisuuden perusteella voidaan jäätymis-sulatussyklitystä käyttää vaikutuksia erottelevana testimenettelynä. Tätä testivertailua ei kuitenkaan toistaiseksi vielä ole meillä toteutettu.

Vaikka kulumisajot täytyisikin lisätä, voidaan laboratorio-osiossa tehdyn suppean Prall-kulumisajon perusteella kuitenkin alustavasti todeta kaliumformiaatin vaikuttavan vain vähän kulumiseen. Kaliumformiaatin 50 %:lla liuoksella asfaltin AB16 ja SMA16 kulumisen jäi tässä aineskonsentraatiossa varastoituna jopa pienemmäksi kuin vedessä varastoituna. Tulos osoitti, että

ko. jäänsulatuskemikaalilla ei ole yleisessä käyttökonsentraatiossa arviolta välitöntä kulumista lisäävää vaikutusta, mikä on käytön suunnittelun jatkamisen kannalta erittäin tärkeä tulos.

Laboratoriossa saadut tarttuvuuslukutulokset viittasivat myös siihen, että etenkin pehmeimmällä tiebitumilla B160/220 saattaa esiintyä tartunnan laskea. Tämä on huomioitava bitumin valinnassa ja asfalttipäällysteen yleisissä suunnitteluohjeissa. Näistä ohjeista sopiminen samoin kuin lisäkulutusajot ja jäätymis-sulatuskokeet tulisi ottaa tarkasteltavaksi ja tutkittavaksi lähemmin mahdollisessa jatkotutkimuksessa.

4.3 Asfaltin koostumuksen suunnittelu formiaatteja käytettäessä

Formiaattien käyttöön tiepäällysteiden jäänsulatuksessa tutkimus ei tuonut varsinaisia esteitä, vaikka kaikkia vaikutusmekanismeja formiaatin ja asfalttipäällysteen välillä ei vielä tarkkaan tunneta. Tärkeintä on tiekäytössä se, että formiaatti ei lisää nastarenkaiden kuluttamisvaikutusta. Näin ei ainakaan suppeiden, laboratoriossa tehtyjen ensimmäisten kulutusajojen perusteella voitu todeta.

Kirjallisuuden, kyselytutkimuksen ja laboratorio-osion tulosten perusteella formiaattien käyttöönottoon haluttaisiin kuitenkin toistaiseksi melko harkitsevaa valintaa niin, että käytön yhteydessä huomioitaisiin päällysteiden toimivuutta varmistavia parametreja. Tuloksia toimivuudesta kaivattaisiin myös nykyistä enemmän. Formiaattien käyttöönoton kannalta harkittavia tiepäällysteiden toimivuuden suunnitteluparametreja ovat tällä hetkellä seuraavat:

- *Tiepäällysteen tyhjätila ja tiiviys*

Formiaattien käyttö kohdentunee aluksi vain aroille pohjavesialueille, joissa se korvaa tavallisen natriumkloridin, jos formiaatin todetaan hajoavan ennen sen joutumista pohjaveteen. Samoin näille alueille pätevät julkaisussa /17/ annetut ohjeet.

Kirjallisuudessa viitattiin siihen, että formiaatit toimivat jäänsulatuskemikaalina oleellisesti paremmin, jos päällysteen kestävyys on hyvä. Tällöin päällysteen tyhjätilan etenkin aroilla pohjavesialueilla tulisi olla tietyssä päällyskerrospaksuudessa enintään 3,0 til. %. Päällyskerroksen paksuuden ja tämän tyhjätilan säädöllä voitaisiin etenkin välttää jäänsulatuskemikaalin kulkeutumista päällysrakenteeseen ja jäänsulautuskemikaali poistuisi päällysteen pinnalta luonnollista tietä haihtuen ja hajoten auringon UV-valossa.

- *Tiebitumin kovuus*

Laboratoriotutkimukset osoittivat, että formiaatti aiheuttaa pehmeällä tiebitumilla B160/220 puhtaan bitumin pintaannousun jäänsulatusliuoksen pintaan. Tiepäällysteessä vaikutus on tarttuvuuslukuarvojen perusteella huomattavasti pienempää. Ilmiö voi periaatteessa johtua esim. bitumin koostumustekijöistä tai suuresta tiheyserosta formiaatin ja bitumin välillä. Tarkkaa vaikutusmekanismia ei ole tutkittu eikä täten tunneta. Valitsemalla täten formiaatin yhteydessä käyttöön pohjavesialueilla vähintään kova tiebitumi B70/100 tai sopimuksesta valittava polymeerimodifioitu tiebitumi, vältetään näin jossain määrin riskiä, joka voisi teoriassa olla seurauksena jäänsulatus-

kemikaalien vaikutuksesta esim. päällystepinnan tartuntahäiriöihin ja purkautumiseen pitkällä aikavälillä.

• *Päällysteen liimaus*

Eräissä tapauksissa päällysteitä uusitaan niin, että vanhan päällysteen pinnan ja uuden päällystekerroksen välissä käytetään hapanta bitumista liima-ainesta eli tiebitumiemulsiota parantamaan rajapinnan tartuntaa. Tämä liima sisältää pieniä määriä suolahappoa. Formiaattia ei kuitenkaan tulisi käyttää emäksisenä aineena happamissa olosuhteissa, koska tällöin on mahdollista, että formiaatista muodostuu pieniä määriä muurahaishappoa, jota tiepäällyste taas ei kestä pitkällä ajalla liukenematta. Vaihtoehtoiseksi liimaksi sopisi formiaatin yhteydessä esim. tavallinen kova bitumi- tai kumibitumiliima, ellei liimausta sitten voida kokonaan jättää tekemättä, varsinkin jos päällystyskohde sijaitsee aralla pohjavesialueella.

Suunnitteluparametrit on helppo toteuttaa jokapäiväisessä asfalttipäällysteiden toimivuuden suunnittelussa, eivätkä ne sinänsä luo mitään suuria esteitä formiaattien käytölle.

5 YHTEENVETO

Tutkimuksessa arvioitiin formiaattien vaikutusta tieasfaltin kestävyYTEEN. Formiaatit ovat tarjolla tiesuolaa (NaCl) aroilla pohjavesialueilla korvaaviksi jäänsulatusaineiksi. Kirjallisuustutkimukset perustuivat bitumilla, kiviaineksellä ja asfaltilla lähinnä lentokenttäkäytössä natriumformiaatin vaikutuksista saatuihin tuloksiin. Natriumkloridin vaikutuksista asfalttipäällysteiden kestävyYTEEN ei ollut käytettävissä tuloksia, mutta yleensä näitä vaikutuksia on pidetty vähäisinä. Natriumkloridin käytöstä onkin ollut enemmän ympäristöhaittaa kuin riskiä itse asfalttipäällysteiden kestävyYTEELLE. Kirjallisuutta täydennettiin uudella laboratoriokokeiden osiolla, jossa tutkittiin 50-prosenttisen kaliumformiaattiliuoksen vaikutusta yleisimpien tiepäällystetyyppien kestävyYTEEN. Laboratorio-osiossa huomioitiin myös jäänsulatuskemikaalin vaikutus ensi kertaa tieasfaltin kulumiseen.

Kirjallisuuden ja laboratoriotulosten tarkastelu osoitti, että formiaateilla on vaikutusta asfaltin materiaaleista sekä bitumiin että kiviainekseen. Asfalttipäällysteiden ominaisuuksista formiaateilla oli vaikutusta myös halkaisuvetolujuuden perusteella laskettuun tarttuvuuslukuun. Halkaisuvetolujuuteen ja jäykkyyssmoduuliin vaikutti yleisesti kuitenkin eniten urea ja muiden jäänsulatuskemikaalien kesken erot eivät olleet merkittäviä. Koska vaikutukset muilla jäänestokemikaaleilla asfalttiin jäivät yleensä ureaa pienemmiksi ja ureaa on käytetty kymmeniä vuosia jäänestossa, ei tarkastelu täten sulkenut suoraan pois ainakaan mintään uutta jäänestokemikaalia.

Jäänsulatuskemikaaleista kulumisen osalta 50-prosenttisen kaliumformiaatin välitön vaikutus asfaltin pintaan oli pienempi kuin vesivaikutus, mikä on erittäin tärkeä ja merkittävä tulos. Koska natriumformiaatin kulutusvaikutus oli kirjallisuuden perusteella kivipintaan suurin 2 %:lla pitoisuudella, tulisi tiepäällysteelle sopivaa jäänsulatuskemikaalia valittaessa kulumisen ja myös tartunta testata vastaavasti myös laimealla jäänsulatuskemikaaliliuoksella. Näihin kokeisiin tulisi kuulua myös jäätymis-sulatuskoe asfaltilla ja mahdolli-

sesti bituminoiduilla kiviainesrakeilla. Jäänsulatuskemikaalien hyväksyttämiskokeita tieasfalttikäytössä ei ole toistaiseksi mitenkään vielä spesifioitu.

Nykykirjallisuuden ja laboratoriokokeiden perusteella sai käsityksen, jonka perusteella uusia jäänsulatuskemikaaleja (formiaatit ja asetaatit) tulisi valita tiekäyttöön vielä harkinnanvaraisesti, vaikka mitään varsinaista selvää esettä valintaan ei kestävyysvaikutusten perusteella ilmennyt. Käyttöön siirtyminen edellyttäisi kuitenkin vielä lisätutkimuksia etenkin kulumisesta ja jäätymis-sulatusvaikutuksista eri menetelmin ja materiaalein. Samoin tulisi sataa loppuun tutkimukset formiaattien hajoamisen seurannasta. Tällöin olisi myös hyvä selkeyttää vielä tiepäällysteiltä vaadittavia suunnitteluparametreja toimivuuden varmistamiseksi ja vaikutusten minimoimiseksi aroilla pohjavesialueilla. Alustavasti nämä tiepäällysteiden suunnitteluparametrit: tyhjätila, tiiveys, bitumin kovuuden ja laadun valinta sekä liima-aineksen valinta on esitetty merkityksineen myös jo tässä tutkimuksessa.

6 LÄHDELUETTELO

/1/ Katusuolatutkimus Case: Helsinki. Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisut 2001:10. Loppuraportti. Rakennusvirasto Katuosasta 2001. Toimitettu työryhmässä. 59 s.

/2/ Toivonen, N.J. Orgaaninen kemia. Otava, Helsinki 1971. Ss. 77 - 78

/3/ Net-osoite tuotteelle MeltiumTM:

<http://www.kemira.com/kalsiumkloridi/mel/meltiumfin.htm>

/4/ Net-osoite tuotteelle Safeway SF: <http://fun.clariant.com/fun/internet.nsf>

/5/ Käynnissä olevista jäänsulatuskemikaalien ympäristötutkimuksista, ks.

<http://www.vyh.fi/eng/research/projects/grwater/deicers>: Nystén, T. ja Hellstén, P. Migration of alternative de-icing chemicals in aquifers

/6/ Edwards, Y., Rollén, J., Lange, G., Aurstad, J. and Nilsen, T-N. Durability problems on Nordic airfields - the influence of de-icing agents on asphalt concrete pavements. A joint project between the Civil Aviation Administrations of Sweden and Norway, the VTI, SINTEF and BYGGFORSK. VTI notat 24A - 1999, project no 70114. 54 p. + Appendices 4.

/7/ Höbeda, P., Vattenkänslighet hos asfaltbeläggning. VTI notat 35 - 1998. Statens väg och transportforskningsinstitut. Linköping. 1998.

/8/ Peltonen, P., Rovaniemen ja Oulun lentokenttien vaurioselvitys 2001 (luottamuksellinen raportti). VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka Tutkimusraportti RTE4121/01, 15.11.2001. 37 S. + liitt. 21 kpl.

/9/ Nilsen, T., Rapport till Luftfartsverket om kunstig aldring med avisingskemikalier i klimasimulator og salttåkekammer av asfaltdecker og tekniske komponenter. 1998.

/10/ Farha, M.H., Effects of runway de-icers on pavement construction materials. Transport Canada Safety and Security Civil Aviation Aerodrome Safety Technical Evaluation Engineering. Ottawa Canada , March 1993. 14 s. + kuvasivuja 29 s. + liitt. 32 s.

/11/ Hassan, Y., Abd El Halim and Razaqpur, A.G. Effect of Runway De-icers on the Mechanical Properties of Asphalt Concrete Mixes Subjected to Freeze-Thaw Cycles. Technical Evaluation Engineering Aerodrome Safety Civil Aviation Safety and Security. 2000/03/31, AARME C00-07, T8080 9 1250. 24 s.

/12/ El Halim, A.O. Evaluation of the effects of runway de-icers on the integrity of hot mix asphalt concrete pavements. Summary of Summer Winter Integrated Field Technologies (SWIFT) Conference 2000, Calgary, 11 to 14 September. (SWIFT Net-sivut 2001, katso <http://www.swiftconference.org/speakers.htm>)

/13/ Emery, J. Effects of De-icing Chemicals on airport pavements. Summary of SWIFT 2000 at Calgary, 11 to 14 September. Diaesitys vastaavasta esitelmästä John Emery ja Ludomir Uzarowski (Jegel/Pavmatec), Victor Mah (DND), Research sponsors Clariant, DND ja Jegel, SWIFT Calgary 2000. 48 s.

/14/ Lim, J. Anti and De-icing media at airports. Summary of SWIFT 2000 at Calgary, 11 to 14 Septemeber. Breakout session chaired by John Lim.

/15/ Päällystealan Neuvottelukunta, PANK ry menetelmäkuvauskansio, toimittanut VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka / Palvelukeskuksen asfalttilaboratorio. Menetelmä no. PANK 4202.

/16/ Bituminous mixtures - Test methods for hot mis asphalt - Part 16: Abrasion by studded tyres. European standard Draft prEN 12697-16:2000 E. 6 p. + Figures 2

/17/ Pohjaveden suojaus tien kohdalla. Julkaisuluonnos 8.5.2000. Tiehallinto Tie- ja liikennetekniikka, Helsinki 2000. 30 s. + liitt. 4 s.

7 LIITTEET

Liite 1: Päällysteen AB16(B80) metadiabaasi Hietavaara, AB16(B80 ja B200) granodioriitti ja SMA16(B80) granodioriitti valmistustiedot

Liite 2: Varastoinnissa olleiden näytteiden tyhjätilavaihtelut



YHDYSKUNTATEKNIikka
Väylät ja ympäristö

L Saarinen
11.12.2001

Tilaaja: Tielaitos

Kohde: Formiaattikoe

Massa: AB 16

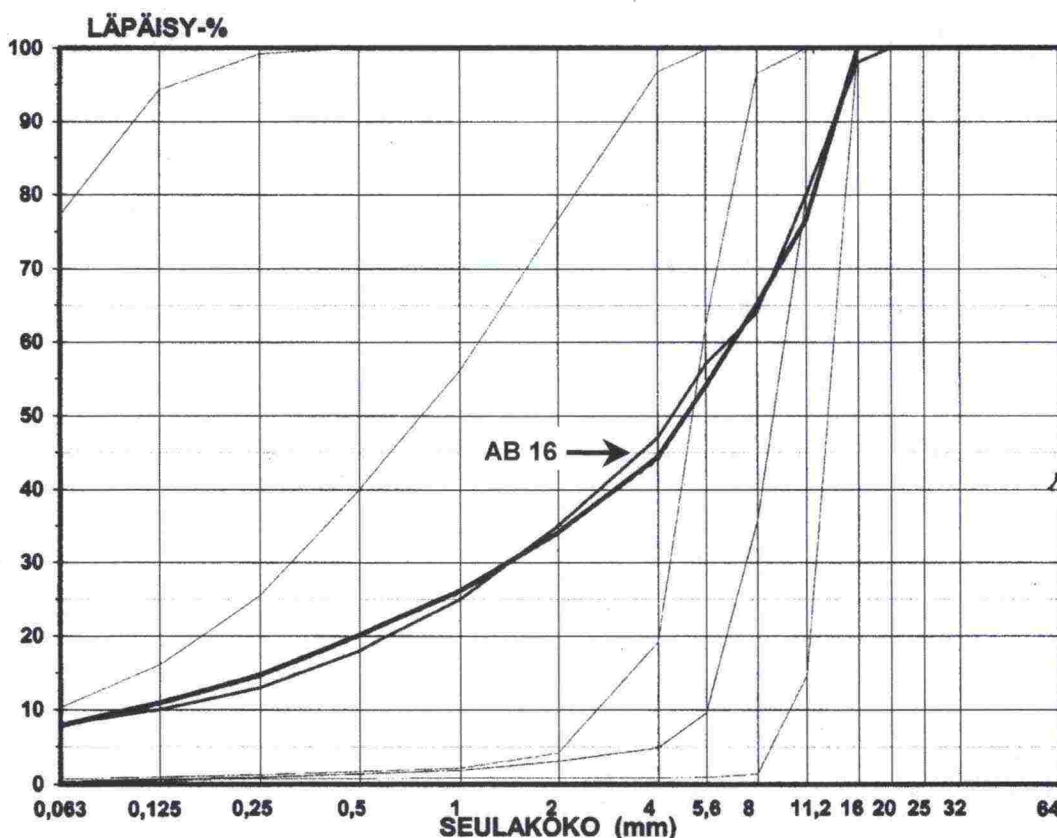
Sideline: B-80 5,1 %, B-200 5,0 %

Täytejauhe: kf

Lisäaineet:

Kivialnes: Teiskon granodioriitti

Muuta: Pyritään harvaan n. 5 % tyhjätilaan
laskan tiheys:



		Tiheydet: 2686 2740		2690 2690		2680	2670
		Seososuudet: 100,0 % 5,0 %		36,0 % 18,0 %		18,0 %	23,0 %
Seula	AB 16	Seos	kf	0/3	4/8	6/12	12/16k
0,063	8	7,9	77,2	10,3	0,7	0,4	0,4
0,125	10	11,0	94,3	16,1	1	0,7	0,6
0,25	13	14,7	99,2	25,5	1,3	1	0,8
0,5	18	20,1	100	39,9	1,7	1,4	0,8
1	25	26,1	100	56,1	2,2	1,9	0,9
2	35	34,1	100	76,5	4,2	3,1	0,9
4	47	44,4	100	96,7	19,2	4,9	0,9
5,6	57	54,0	100	99,7	62,2	9,6	1
8	64	65,1	100	100	96,5	35,6	1,4
11,2	80	76,6	100	100	99,9	79,4	14,6
16	98	100,0	100	100	100	99,9	100
20	100	100,0	100	100	100	100	100
25	100	100,0	100	100	100	100	100
32	100	100,0	100	100	100	100	100

Annosmäärien laskentataulukko

- keltaisella pohjalla olevat tiedot annettava

Kivimäärä: 1200 g

Reseptinumero: PUUTTUU II

L Saarinen

11.12.2001

Työ:	Formiaattikoe
Massa:	AB 16
Bitumi:	B-80 5,1 %, B-200 5,0 %
Kivi:	Teiskon granodioriitti
Lisäaine:	

Lajite	Osuus (%)	Määrä (g)	Summa (g)
kf	5,0	60,0	60,0
0/3	36,0	432,0	492,0
4/8	18,0	216,0	708,0
6/12	18,0	216,0	924,0
12/16k	23,0	276,0	1200,0

SUMMA	100,0	1200,0
-------	-------	--------

Muita lisätietoja:

Bitumi:	Osuus (%)	Määrä (g)
Massamäärä lisäaineineen		
1260,5	4,8	60,5
1264,5	5,1	64,5
1268,5	5,4	68,5

Lisäaine:

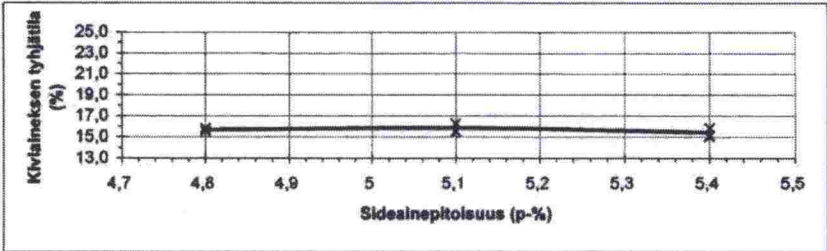
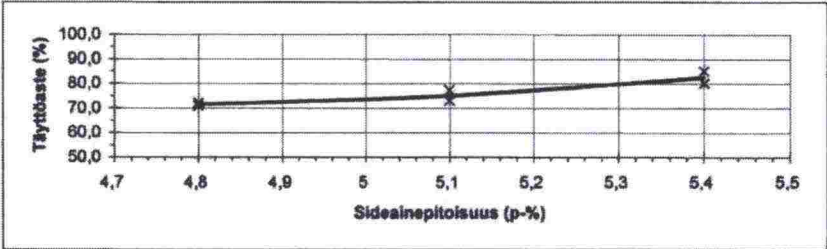
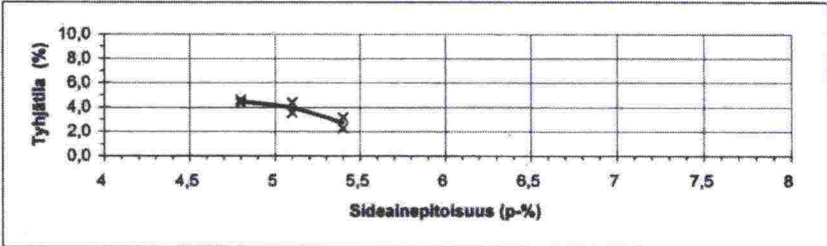
SA-osuus (%)	Lisäainemäärä (g)
4,8	0,0
5,1	0,0
5,4	0,0

Tilavuussuhteden
laskupohja
Tielaitos
Formiaattikoe
Marshall 2x50

Massa:	AB 16
Sideaine:	B-80 5,1 %, B-20 1020 kg/m3
Kivi:	Teiskon granodior 2683 kg/m3
Täytejauhe:	kf 2740 kg/m3
Lisäaineet:	%

Pvm: 11.12.2001
Tekijä: L. Saarinen

Nro	Massa	SAP (%)	TJ-pit. (%)	Teor. tih. (kg/m³)	Ilma (g)	Vesi (g)	P-kuiva (g)	Tiheys (kg/m³)	TT (%)	KAT (%)	TA (%)	Keskiarvot		
												TT (%)	KAT (%)	TA (%)
1	AB 16	4,8	5	2491	1249,3	723,5	1249,3	2376	4,6	15,8	70,8			
2	AB 16	4,8	5	2491	1255,6	728,6	1255,6	2383	4,3	15,6	72,1			
												4,5	15,7	71,4
3	AB 16	5,1	5	2479	1256,2	726,4	1256,2	2371	4,4	16,2	73,1			
4	AB 16	5,1	5	2479	1259,3	732,8	1259,3	2392	3,5	15,5	77,2			
												4,0	15,9	75,1
5	AB 16	5,4	5	2468	1268,1	737,6	1268,1	2390	3,2	15,8	80,0			
6	AB 16	5,4	5	2468	1258,3	736,7	1258,3	2412	2,3	15,0	84,9			
												2,7	15,4	82,5





YHDYSKUNTATEKNIikka
Väylät ja ympäristö

L. Saarinen
3.12.2001

Tilaaaja: Tielaitos

Kohde: Formiaattikoe

Massa: AB 16

Sideaine: B-80

4,5 %

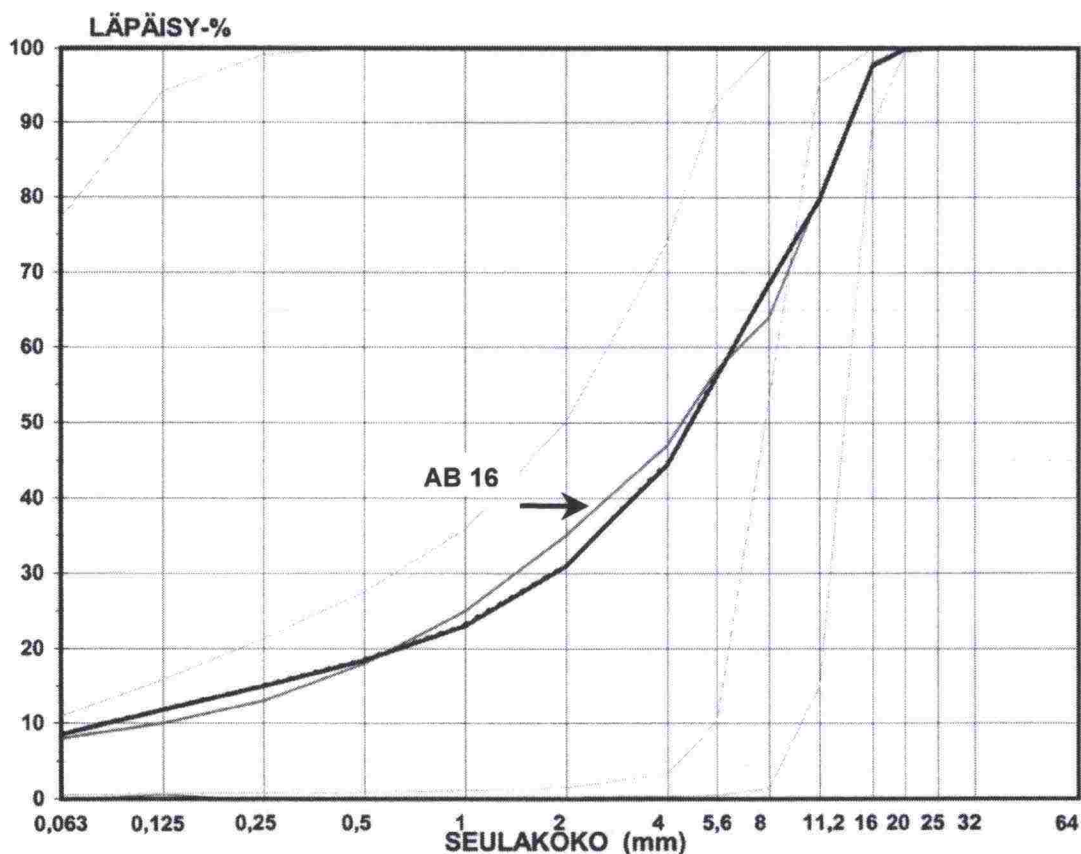
Täytejauhe: KF

Lisäaineet:

Kiviaines: Hietavaaran metadiabaasi 0/6, 6/12, 12/18 mm

Muuta:

lassan tiheys: 2725 kg/m³



		Tiheydet: 2958 2740 2950 2990 2980					
		Seososuudet: 100,0 % 3,0 % 55,0 % 19,0 % 23,0 %					
Seula		AB 16	Seos	KF	0/6lab	6/12lab	12/18lab
0,063		8	8,5	77,2	11	0,6	0,2
0,125		10	11,8	94,3	15,9	0,7	0,3
0,25		13	15,0	99,2	21,4	0,8	0,3
0,5		18	18,4	100	27,6	0,9	0,3
1		25	23,0	100	35,9	1,1	0,3
2		35	31,0	100	50,2	1,5	0,3
4		47	44,4	100	74	3,3	0,4
5,6		57	56,1	100	92,8	10,3	0,5
8		64	68,4	100	100	53,2	1,4
11,2		80	79,5	100	100	95,3	14,9
16		98	97,7	100	100	100	89,8
20		100	99,9	100	100	100	99,5
25		100	100,0	100	100	100	100
32		100	100,0	100	100	100	100

Annosmäärien laskentataulukko

- keltaisella pohjalla olevat tiedot annettava

Kivimäärä: 1200 g

Reseptinumero: PUUTTUU II

L Saarinen

3.12.2001

Työ:	Formiaattikoe
Massa:	AB 16
Bitumi:	B-80
Kivi:	Hietavaaran metadiabaasi 0/6, 6/12, 12/18 mm
Lisäaine:	

Lajite	Osuus (%)	Määrä (g)	Summa (g)
KF	3,0	36,0	36,0
0/6lab	55,0	660,0	696,0
6/12lab	19,0	228,0	924,0
12/18lab	23,0	276,0	1200,0

SUMMA	100,0	1200,0
-------	-------	--------

Muita lisätietoja:

Bitumi:	Osuus (%)	Määrä (g)
1256,5	4,5	56,5
1260,5	4,8	60,5
1264,5	5,1	64,5

Lisäaine:

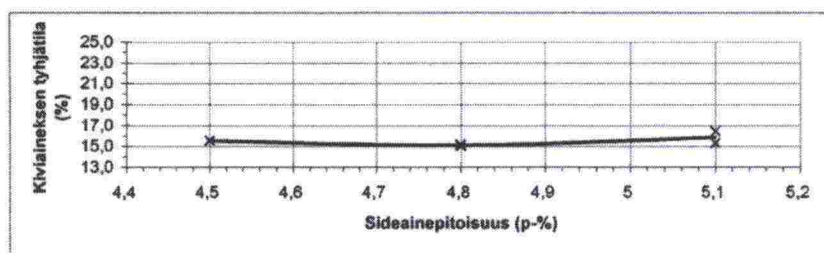
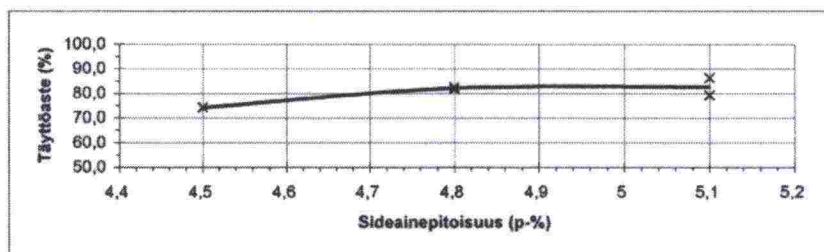
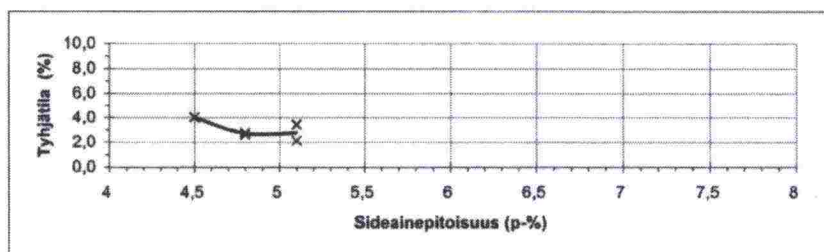
SA- osuus (%)	Lisäaine- määrä (g)
4,5	0,0
4,8	0,0
5,1	0,0

Tilavuussuhteiden
laskupohja
Tielaitos
Formlaattikoe
ICT100/400

Massa:	AB 16	
Sideaine:	B-80	1020 kg/m ³
Kivi:	Hietavaaran meta	2965 kg/m ³
Täytejauhe:	KF	2740 kg/m ³
Lisäaineet:		%

Pvm: 12.12.2001
Tekijä: L Saarinen

Nro	Massa	SAP (%)	TJ-pit. (%)	Teor. tih. (kg/m ³)	Ilma (g)	Vesi (g)	P-kuiva (g)	Tiheys (kg/m ³)	TT (%)	KAT (%)	TA (%)	Keskiarvot		
												TT (%)	KAT (%)	TA (%)
7	AB 16	4,5	3	2725	1255,5	775,5	1255,5	2616	4,0	15,5	74,3			
8	AB 16	4,5	3	2725	1245,2	769	1245,2	2615	4,0	15,6	74,1			
												4,0	15,6	74,2
9	AB 16	4,8	3	2710	1253,4	777,7	1253,4	2635	2,8	15,2	81,6			
10	AB 16	4,8	3	2710	1260,6	783	1260,6	2639	2,6	15,0	82,6			
												2,7	15,1	82,1
11	AB 16	5,1	3	2696	1265,9	779,8	1265,9	2604	3,4	16,4	79,2			
12	AB 16	5,1	3	2696	1257,4	781	1257,4	2639	2,1	15,3	86,2			
												2,8	15,9	82,7





Tilaja: Tielaitos

Kohde: Formiaattikoe

Massa: SMA 16

Sideaine: B-80 6,2 %

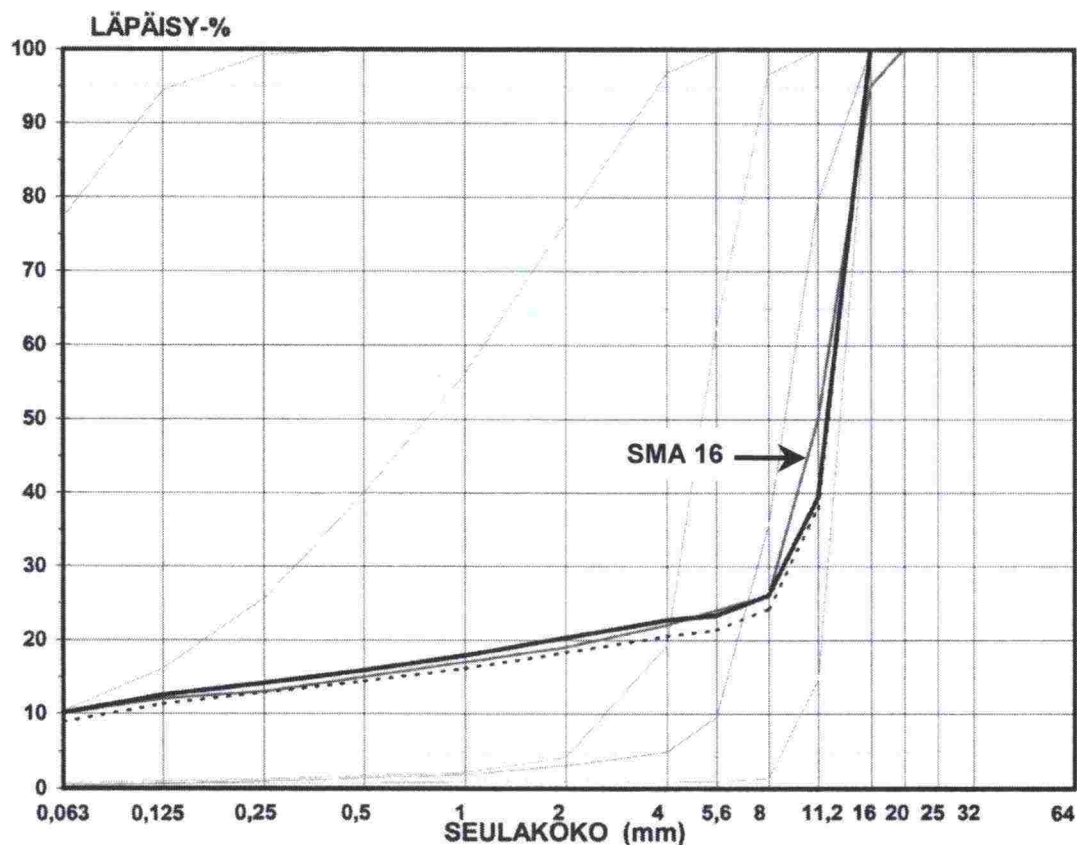
Täytejauhe: KF

Lisäaineet: Arbocel 0,4 %

Kiviaines: Teiskon granodioriitti

Muuta: Formiaattikoe

Iassin tiheys: 2434 kg/m³



		Tiheydet: 2680 2740		2690 2690		2680 2670	
		Seososuudet: 100,0 % 10,0 %		10,0 % 0,0 %		10,0 % 70,0 %	
Seula	SMA 16	Seos	kf	0/3	4/8	6/12	12/16k
0,063	10	10,1	77,2	10,3	0,7	0,4	0,4
0,125	12	12,5	94,3	16,1	1	0,7	0,6
0,25	13	14,1	99,2	25,5	1,3	1	0,8
0,5	15	15,9	100	39,9	1,7	1,4	0,8
1	17	17,9	100	56,1	2,2	1,9	0,9
2	19	20,3	100	76,5	4,2	3,1	0,9
4	22	22,7	100	96,7	19,2	4,9	0,9
5,6	24	23,3	100	99,7	62,2	9,6	1
8	26	26,0	100	100	96,5	35,6	1,4
11,2	50	39,4	100	100	99,9	79,4	14,6
16	95	100,0	100	100	100	99,9	100
20	100	100,0	100	100	100	100	100
25	100	100,0	100	100	100	100	100
32	100	100,0	100	100	100	100	100

Annosmäärien laskentataulukko

- keltaisella pohjalla olevat tiedot annettava

Kivimäärä: 30000 g

Reseptinumero: PUUTTUU !!

L Saarinen

3.12.2001

Työ:	Formiaattikoe
Massa:	SMA 16
Bitumi:	B-80
Kivi:	Teiskon granodioriitti
Lisäaine:	Arbocel

Lajite	Osuus (%)	Määrä (g)	Summa (g)
kf	10,0	3000,0	3000,0
0/3	10,0	3000,0	6000,0
4/8			
6/12	10,0	3000,0	9000,0
12/16k	70,0	21000,0	30000,0

SUMMA	100,0	30000,0
-------	-------	---------

Muita lisätietoja:

Bitumi:	Osuus (%)	Määrä (g)
Massamäärä lisäaineineen		
32110,9	6,2	1982,9
32145,1	6,3	2017,1
32179,5	6,4	2051,3
32213,9	6,5	2085,6

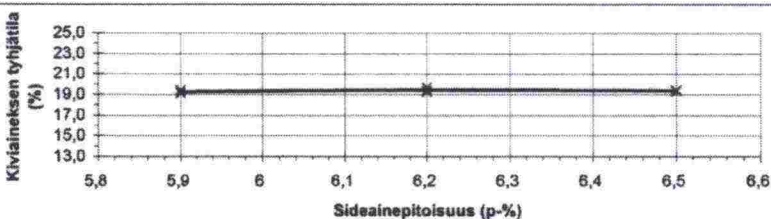
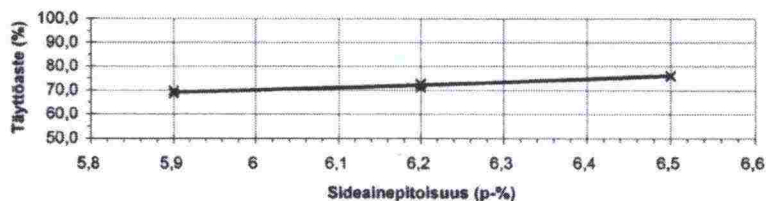
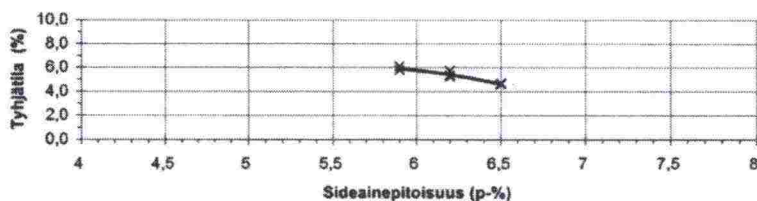
Lisäaine:	0,4
SA- osuus (%)	Lisäaine- määrä (g)
6,2	127,9
6,3	128,1
6,4	128,2
6,5	128,3

Tilavuussuhteiden
laskupohja
Tielaitos
Formiaattikoe
Marshall

Massa:	SMA 16	
Sideaine:	B-80	1020 kg/m ³
Kivi:	Teiskon granodior	2673 kg/m ³
Täytejauhe:	KF	2740 kg/m ³
Lisäaineet:	Arbocel	0,4 %

Pvm: 3.12.2001
Tekijä: L. Saarinen

Nro	Massa	SAP (%)	TJ-pit. (%)	Teor. tih. (kg/m ³)	Ilma (g)	Vesi (g)	P-kuiva (g)	Tiheys (kg/m ³)	TT (%)	KAT (%)	TA (%)	Keskiarvot		
												TT (%)	KAT (%)	TA (%)
1	SMA 16	5,9	10	2445	1271,3	726,8	1280,5	2296	6,1	19,4	68,5			
2	SMA 16	5,9	10	2445	1269,3	722,7	1273,7	2304	5,8	19,1	69,7			
												5,9	19,2	69,1
3	SMA 16	6,2	10	2434	1283,2	731	1287,2	2307	5,2	19,2	72,9			
4	SMA 16	6,2	10	2434	1277,6	727,9	1282,3	2304	5,3	19,3	72,4			
5	SMA 16	6,2	10	2434	1283,6	729,4	1288,6	2295	5,7	19,7	71,0			
												5,4	19,4	72,1
6	SMA 16	6,5	10	2423	1199,3	682,9	1201,6	2312	4,6	19,3	76,2			
7	SMA 16	6,5	10	2423	1272,8	724,1	1275,1	2310	4,7	19,4	75,9			
												4,6	19,4	76,0



FORMIAATIN KESTÄVYYSKOKEISSA TUTKITTUJEN ASFALTTIPORAKAPPALOIDEN TUHJÄTILAT

Taulukko 1

TESTI	TYHJÄTILA, til-%			
	AB16T(B80)	AB16H(B80)	AB16T(B200)	SMA16T(B80)
HVL ilma	4,1	4,4	4,2	5,8
HVL vesi	4,2	4,5	4,3	5,7
HVL meltium	4,2	4,6	4,3	5,8
PRALL ilma	3,6	4,1	3,9	5,3
PRALL vesi	3,8	4,1	3,9	5,3
PRALL meltium	3,9	4,2	4,0	5,4

Laatoista pyrittiin saamaan harvahkoja, noin tyhjätila 4 - 5 %. Samoin pyrittiin eri säilytystapoihin saamaan näytteet, joissa tyhjätilat olivat mahdollisimman lähelle toisiaan.

ISSN 1457-9871
ISBN 951-726-902-1
TIEH 3200756